



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“TELEDETECCIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS
PROSPECTIVO METÁLICO USANDO IMÁGENES
ASTER Y LANDSAT OLI-TIRS EN EL DISTRITO DE
NAMORA, CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Julcamoro Alcantara, Patricia Yovanna

Bach. Julcamoro Alcantara, Victor

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres: **Julcamoro Alcantara, Patricia Yovanna y Julcamoro Alcantara, Víctor**, denominada:

**“TELEDETECCIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS PROSPECTIVO METÁLICO
USANDO IMÁGENES ASTER Y LANDSAT OLI-TIRS EN EL DISTRITO DE
NAMORA, CAJAMARCA”**

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán
ASESOR

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon
JURADO

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido
JURADO

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios por darme la oportunidad de vivir y poner en mi camino a personas maravillosas que han sido de gran apoyo para concluir mi carrera. A mis padres por los consejos, sus valores y motivación constante que me permitieron lograr este objetivo.

Julcamoro Alcantara, Patricia Yovanna

Dedico esta tesis, a Dios por guiarme, iluminarme y darme la sabiduría en momentos difíciles. A mis padres por darme la vida y luchar día a día por lograr este más en la vida. A mi novia Diana por su amor, permanente cariño y comprensión. A mi hija Mariagracia por ser mi motivo para culminar este proyecto.

Julcamoro Alcantara, Victor

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por darnos la oportunidad de vivir, darnos su fortaleza en cada momento de debilidad.

Les agradecemos a nuestros padres María y Víctor, por su apoyo incondicional y confianza, por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de todo este tiempo, ellos son nuestro mayor motivo para todos nuestros logros. Por habernos tenido la paciencia necesaria y motivarnos día a día a seguir adelante.

Al Ing. Daniel Alva, por el apoyo y la paciencia para llegar a la conclusión de esta tesis, por todas las facilidades otorgadas y por ayudar a crecer profesionalmente. Por su tiempo, amistad y por los conocimientos transmitidos.

A nuestros familiares y amigos que son seres queridos, y todas aquellas personas que fueron parte de nuestro crecimiento profesional, gracias por la confianza y los momentos que pasamos a lo largo de la carrera. Hoy hemos logrado concluir con éxito esta Tesis, que en un inicio pudo parecer una tarea interminable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE PLANOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
ABREVIATURAS.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	17
1.5.1. Objetivo general	17
1.5.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1. Etapas de una mina	19
2.2.2. Clasificación de minerales económicos.....	21
2.2.3. Principios de la prospección satelital para la búsqueda de yacimientos minerales	22
2.2.4. Teledetección.	25
2.3. Definición de términos básicos.....	36
2.4. Hipótesis.....	37
CAPÍTULO 3. GENERALIDADES	38
3.1. Ubicación.....	38
3.2. Población.....	38
3.3. Accesibilidad	39
3.4. Mineralogía espectral	39
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	59
4.1. Operacionalización de variables.....	59

4.2. Diseño de investigación.....	59
4.3. Unidad de estudio	59
4.4. Población.....	59
4.5. Muestra	59
4.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	59
4.7. Procedimientos de análisis de datos	60
4.7.1. Adquisición de imágenes satelitales.....	60
4.7.2. Corrección de imágenes satelitales.....	60
4.7.3. Remuestreo de las imágenes	62
4.7.4. Máscaras	64
4.7.5. Análisis y Clasificación Espectral de Minerales.	68
75	
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	78
5.1. Ubicación de minerales analizados en la imagen Aster	78
5.1.1. Ubicación Espacial De Calcita.....	78
5.1.2. Ubicación espacial de Caosmectita.....	79
5.1.3. Ubicación espacial de Corindón	80
5.1.4. Ubicación espacial de Cuarzo	81
5.1.5. Ubicación espacial de Epidota	82
5.1.6. Ubicación espacial de Illita	83
5.1.7. Ubicación espacial de Muscovita	84
5.1.8. Ubicación espacial de Tremolita y Actinolita	85
5.1.9. Ubicación espacial de Turmalina.....	86
5.2. Ubicación de minerales analizados Landsat OLI - TIRS	88
5.2.1. Ubicación espacial de la Caosmectita	88
5.2.2. Ubicación espacial de Diásporo	89
5.2.3. Ubicación espacial de Epidota	90
5.2.4. Ubicación espacial de Tremolita.....	91
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	93
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensamblajes minerales asociados a yacimientos metálicos.	24
Tabla 2: Subsistemas que compone una imagen ASTER.	28
Tabla 3: Características de las bandas de LANDSAT OLI - TIRS.	32
Tabla 4: Coordenadas de referencia de la zona de estudio.	38
Tabla 5: Mineral Actinolita.	39
Tabla 6: Mineral Adularia.	39
Tabla 7: Mineral Albita.	40
Tabla 8: Mineral Alunita.	40
Tabla 9: Mineral Andalucita.	41
Tabla 10: Mineral Ankerita.	41
Tabla 11: Mineral Biotita.	42
Tabla 12: Mineral Calcita.	42
Tabla 13: Mineral Caolinita.	43
Tabla 14: Mineral Chabasita.	43
Tabla 15: Mineral Clorita.	44
Tabla 16: Mineral Corindón.	44
Tabla 17: Mineral Cristobalita.	45
Tabla 18: Mineral Cuarzo.	45
Tabla 19: Mineral Diásporo.	46
Tabla 20: Mineral Dickita.	46
Tabla 21: Mineral Dolomita.	47
Tabla 22: Mineral Epidota.	47
Tabla 23: Mineral Esmeralda.	48
Tabla 24: Mineral Estilbita.	48
Tabla 25: Mineral Halloysita.	49
Tabla 26: Mineral Granate.	49
Tabla 27: Mineral Hematita.	50
Tabla 28: Mineral Heulandita.	50
Tabla 29: Mineral Illita.	51
Tabla 30: Mineral Laumontita.	51
Tabla 31: Mineral Magnetita.	52
Tabla 32: Mineral Mordenita.	52
Tabla 33: Mineral Muscovita.	53
Tabla 34: Mineral Natrolita.	53
Tabla 35: Mineral Ópalo.	54
Tabla 36: Mineral Pirita.	54

Tabla 37: Mineral Pyrofilita.....	55
Tabla 38: Mineral Siderita.	55
Tabla 39: Mineral Tremolita.....	56
Tabla 40: Mineral Tridimita.....	56
Tabla 41: Mineral Turmalina.....	57
Tabla 42: Mineral Vesuvianita.	57
Tabla 43: Mineral Wallastonita.	58
Tabla 44: Marco operacional de variables e indicadores.	59
Tabla 45: Ensamblajes minerales característicos de Yacimientos metálicos.....	68
Tabla 46: Ensamblajes minerales asociados a yacimientos metálicos	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Minerales característicos en yacimientos metálicos. (Leach, 1998).....	23
Figura 2: Espectro electromagnético.....	25
Figura 3: Librería espectral y firmas espectrales de minerales.	26
Figura 4: Subsistema VNIR	29
Figura 5: Subsistema SWIR	30
Figura 6: Subsistema TIR.....	32
Figura 7: Construcción del sensor OLI en el satélite LDCM.	33
Figura 8: Sensor OLI, montaje del plano focal (USGS y NASA. 2013)	34
Figura 9: Construcción del sensor TIRS, desarrollado por la NASA y el (GSFC) Goddard Space Flight Center.(USGS,2013).	35
Figura 10: Ubicación del distrito de Namora.....	38
Figura 11: Imagen sin correcciones	60
Figura 12: Corrección radiométrica	61
Figura 13: Corrección atmosférica.	62
Figura 14: Imagen con pixel 30x30	63
Figura 15: Imagen remuestreada a pixel 15x15	63
Figura 16: Máscara de nubes.....	64
Figura 17: Máscara de vegetación.	65
Figura 18: Máscara de agua.....	65
Figura 19: Imagen Landsat OLI-TIR sin aplicar las máscaras.....	66
Figura 20: Imagen Landsat OLI-TIRS aplicando las máscaras.	66
Figura 21: Imagen ASTER sin aplicar las máscaras.	67
Figura 22: Imagen ASTER aplicando las máscaras.	67
Figura 23: Firmas espectrales características de los minerales de alteración USGS	70
Figura 24: Firmas espectrales características de los minerales de alteración USGS.	71
Figura 25: Identificación de la firma espectral de Calcita.	72
Figura 26: Identificación de la firma espectral de Caosmectita.	72
Figura 27: Identificación de la firma espectral de corindón.	73
Figura 28: Identificación de la firma espectral de cuarzo.	73
Figura 29: Identificación de la firma espectral de Epidota	73
Figura 30: Identificación de la firma espectral de Illita.	74
Figura 31: Identificación de la firma espectral de Muscovita.	74
Figura 32: Identificación de la firma espectral de Tremolita - Actinolita.....	74
Figura 33: Identificación de la firma espectral de Turmalina.	75
Figura 34: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 1.	75
Figura 35: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 2.	76

Figura 36: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 3.	76
Figura 37: Identificación de la firma espectral de Diásporo.	76
Figura 38: Identificación de la firma espectral de Epidota.	77
Figura 39: Identificación de la firma espectral de Tremolita.	77
Figura 40: Mapa de ubicación de calcita	78
Figura 41: Presencia de calcita en alteraciones minerales	78
Figura 42: Mapa de ubicación de caosmectita	79
Figura 43: Presencia de caosmectita en alteraciones minerales.....	79
Figura 44: Mapa de ubicación de corindón	80
Figura 45: Presencia de corindón en alteraciones minerales	80
Figura 46: Mapa de ubicación de cuarzo	81
Figura 47: Presencia de cuarzo en alteraciones minerales.....	81
Figura 48: Mapa de ubicación de epidota	82
Figura 49: Presencia de epidota en alteraciones minerales.....	82
Figura 50: Mapa de ubicación de illita	83
Figura 51: Presencia de illita en alteraciones minerales	83
Figura 52: Mapa de ubicación de muscovita	84
Figura 53: Presencia de muscovita en alteraciones minerales.....	84
Figura 54: Mapa de ubicación de Tremolita y Actinolita	85
Figura 55: Presencia de tremolita y actinolita en alteraciones minerales	85
Figura 56: Mapa de ubicación de turmalina	86
Figura 57: Presencia de turmalina en alteraciones minerales	86
Figura 58: Mapa de ubicación de caosmectita	88
Figura 59: Presencia de caosmectita en alteraciones minerales.....	88
Figura 60: Mapa de ubicación de diásporo	89
Figura 61: Presencia de diásporo en alteraciones minerales.	89
Figura 62: Mapa de ubicación de epidota	90
Figura 63: Presencia de epidota en alteraciones minerales	90
Figura 64: Mapa de ubicación de tremolita	91
Figura 65: Presencia de tremolita en alteraciones minerales.....	91
Figura 66: Zonificación de minerales característicos en yacimientos metálicos. (Leach, 1998).....	93

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Minerales a partir de la imagen ASTER.	87
Plano 2: Minerales a partir de la imagen Landsat OLI-TIRS	92
Plano 3: Minerales a partir de imagen ASTER vs imagen Landsat OLI-TIRS.....	95

RESUMEN

El Perú es un país de antigua y rica tradición minera, por ende, es de gran importancia la implementación de nuevas técnicas de prospección de manera que permita obtener resultados de manera objetiva y simplificada, tal es el caso de la teledetección que es una técnica económicamente rentable y que abarca grandes extensiones de espacio-tiempo, técnica que será implementada en la presente investigación la cual tiene como objetivo principal de Identificar áreas de interés prospectivo de yacimientos económicamente rentables, utilizando teledetección, mediante imágenes satelitales Áster y Landsat OLI – TIRS.

Para realizar la presente investigación se debe adquirir las imágenes satelitales ASTER y Landsat de la zona de estudio con características atmosféricas favorables, se realiza la corrección atmosférica y radiométrica con la finalidad de procesar toda la información de reflectancia que tenga la imagen, posteriormente se realiza un remuestreo para homogenizar la resolución espacial a 15 metros pixel, consecuentemente se realiza el enmascaramiento para filtrar toda información que sea innecesaria en el estudio y finalmente se realiza el análisis espectral de los píxeles puros de información que tenga tanto la imagen ASTER como la imagen Landsat. Obteniéndose así zonas con interés prospectivo con presencia de minerales como: Calcita, Caosmectita, Corindón, Cuarzo, Diásporo, Epidota, Illita, Muscovita, Tremolita-Actinolita, turmalina, evidenciando la ocurrencia de alteraciones minerales tales como propilítica, potásica y argílica según la clasificación mineral de Leach, 1998. Concluyendo así que es posible identificar áreas de interés prospectivo de yacimientos económicamente rentables, utilizando teledetección, mediante imágenes satelitales Áster y Landsat OLI – TIRS.

ABSTRACT

Peru is a country of ancient and rich mining tradition, therefore, it is of great importance the implementation of new prospecting techniques in order to obtain results in an objective and simplified manner, such as remote sensing, which is a technique economically profitable and covering large extensions of space-time, a technique that will be implemented in this research which has as main objective to identify areas of prospective interest from economically profitable sites, using remote sensing, using satellite images Aster and Landsat OLI - TIRS.

In order to carry out the present investigation, the ASTER and Landsat satellite images of the study area with favorable atmospheric characteristics must be acquired, the atmospheric and radiometric correction is carried out in order to process all the reflectance information that the image has, then a resampling to homogenize spatial resolution at 15 meters pixel, consequently masking is done to filter all information that is unnecessary in the study and finally to perform the spectral analysis of the pure pixels of information that has both the ASTER image and the Landsat image. Obtaining thus areas with prospective interest with the presence of minerals such as: Calcite, Chaomectite, Corundum, Quartz, Diasporum, Epidote, Illita, Muscovite, Tremolite-Actinolite, Tourmaline, evidencing the occurrence of mineral alterations such as propylitic, potassium and argillic according to the classification Leach mineral, 1998. Concluding that it is possible to identify areas of prospective interest from economically profitable fields, using remote sensing, using Aster and Landsat OLI - TIRS satellite images.

ABREVIATURAS

Act: Actinolita

Ad: Adularia

Ab: Albita

Al: Alunita

And: Andalucita

ASTER: Radiómetro Avanzado De Emisión Térmica Y Reflexión Espacial

Bio: Biotita

Cb: Carbonatos

Cor: Corindón

Cpx: Clinopiroxeno

Cr: Cristobalita

Ct: Calcita

Ch-Sm: Clorita-Esmectita

Ch: Clorita

Chab: Chabasita

Do: Dolomita

Dik: Dickita

Dp: Diásporo

Ep: Epidota

Fsp: Feldespato

Ga: Granate

Hal: Galapectita

Heu: Heulandita

I: Illita

I-Sm: Illita-Esmectita

INGEMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

K: Caolinita

Lau: Laumontita

LANDSAT: Satélite Tierra

Mt: Magnetita

Mor: Mordenita

NASA: Administración Nacional De La Aeronáutica Y Del Espacio

Nat: Natrolita

ND: Número Digital

NIR: Infrarrojo Cercano

OLI: Sensor Operacional De Imágenes De Tierra

Op: Ópalo

Pyr: Pirofilita

Q: Cuarzo

Ser: Sericita

Sid: Siderita

SIG: Sistema De Información Geográfica

Sm: Esmeclita

Stb: Estilbita

SWIR: Infrarrojo De Onda Corta

TIRS: Infrarrojo Térmico

Tr: Tremolita

Tri: Tridimita

TS: Temperatura Superficial

UDT: Árbol De Decisión Hídrico

USGS: Servicio Geológico De Los Estados Unidos

UTM: Sistema De Coordenadas Transversal De Mercator

Ves: Vesuvianita

Wai: Wairaquita

Wo: Wollastonita

Zeo: Zeolita

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El Perú es un país de antigua y rica tradición minera, por ende, es de gran importancia la implementación de nuevas técnicas de prospección de manera que permita obtener resultados de manera objetiva y simplificada reduciendo así problemáticas como son tiempo de prospección y costos elevados de las mismas, es por ello que la presente investigación lleva por título TELEDETECCIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS PROSPECTIVO METÁLICO USANDO IMÁGENES ASTER Y LANDSAT OLI-TIRS EN EL DISTRITO DE NAMORA, CAJAMARCA-2018, la cual enfoca una nueva herramienta de prospección tal es el caso de la teledetección que es una técnica económicamente rentable y que abarca grandes extensiones de espacio-tiempo, la misma que nos permitirá tener una minería responsable con el medio ambiente y en equilibrio social si se llevase el caso de su explotación.

1.2. Formulación del problema

¿Es posible definir áreas de interés prospectivo metálico mediante el análisis de imágenes satelitales en el distrito de Namora?

1.3. Justificación

El desarrollo de técnicas minero-informáticas y científicas permite identificar el potencial de recursos mineros y su factibilidad de explotación, estas técnicas se ha incrementado con el propósito de impulsar la minería como actividad económica, lo cual permite delimitar áreas con potencial minero que induzcan las inversiones.

El distrito de Namora es una zona de potencial mineral, es por ello que es necesario un análisis a fin de puntualizar las zonas de prospección, fuera del alcance de afectación de la comunidad y sin una gran inversión para su identificación. Por lo que la presente investigación pretende dar un aporte para la ubicación de zonas de interés mineral teniendo en cuenta la identificación de zonas prospectables, favoreciendo a la comunidad y medio ambiente con una minería responsable puesto que determinaremos zonas de mayor potencial económico con menor impacto ambiental.

1.4. Limitaciones

Poca disponibilidad de imágenes ASTER, ya que las imágenes gratuitas solo descargan los subsistemas VNIR Y TIR, en el caso de investigación mineral son necesarios los subsistemas VNIR, SWIR Y TIR.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Identificar áreas de interés prospectivo de yacimientos económicamente rentables, utilizando teledetección, mediante imágenes satelitales Áster y Landsat OLI - TIRS.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar e interpretar los rangos espectrales de los diferentes minerales existentes en la zona de estudio.
- Comparar los rangos espectrales del procesamiento de la imagen Aster y Landsat OLI-TIRS con las firmas espectrales de la librería espectral de la USGS para determinar zonas de yacimientos minerales.
- Comparar los resultados entre las imágenes satelitales ASTER y LANDSAT OLI – TIRS
- Proporcionar mapa temático con información para determinar las zonas de potencial mineral

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Existen diferentes trabajos de investigación de prospección minera a partir de uso de imágenes satelitales con resultados que permitieron identificar áreas de interés para proyectos mineros.

MENDIGUREN, CARREÑO, LÓPEZ Y CABRERA (2008) Detección de zonas de alteración hidrotermal y contactos litológicos mediante imágenes Aster en el Plutón de Santa Gracia, La Serena, Chile

En el presente estudio se muestran diferentes aplicaciones del sensor ASTER en el campo de la minería. Mediante un análisis de componentes principales es posible detectar contactos entre litologías en zonas con una geología complicada. El cálculo de diferentes índices de alteración mineral permite detectar zonas minerales alteradas junto con un análisis de componentes principales. Un estudio más profundo mediante una clasificación SAM (Spectral Angle Mapper) permite la identificación de algunos de los minerales de estas zonas.

Los resultados de este trabajo muestran la importancia de la realización de un trabajo de campo que permita conocer el área de estudio, así como otro tipo de datos que sean de utilidad en la calibración y corrección de la imagen.

Las zonas de alteración obtenidas empleando los valores de radiancia en el sensor, y los valores de reflectividad, presentan zonas en común y son coincidentes con la cartografía base. También aparece al NO una zona de alteración hidrotermal no cartografiada. Las alteraciones presentan una zonación concéntrica y controlada por la red hidrográfica que explicaría el aumento del grado de alteración hacia las zonas exteriores producido por una acumulación debido al transporte fluvial.

MAMANI, T. (2017) Aplicación de imágenes Aster en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, sector Titire, carumas, Moquegua. Puno-Perú.

El presente estudio se localiza en el sector de Titire, distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Tiene como objetivo, determinar zonas de anomalías espectrales relacionadas a alteraciones hidrotermales a partir de imágenes satelitales ASTER, La metodología que se siguió para análisis e interpretación de imágenes ASTER fue mediante técnicas de composición de bandas RGB: 321, RGB: 931, RGB: 468, RGB: 943, cociente de bandas con los ratios obtenidos: 4/6, 5/6, 5/8, análisis de componentes principales mediante método CROSTA y el análisis espectral con el método SAM (Spectral Angle Mapper), los cuales permitieron identificar zonas anómalas asociadas a las alteraciones hidrotermales.

BOLETIN N°20 (1998) Estudio geológico regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la república de Perú.

El propósito del estudio es evaluar el potencial regional de recursos en Trujillo y Cajamarca, pertenecientes al norte de Perú mediante el análisis de imágenes de satélite. Este estudio se llevó a cabo con el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMET) Y Perúpetro S.A.

Se obtuvo como resultados mapas de interpretación geológica de la región Ucayali, ratios de área minera Michiquillay, cuenca Ucayali, densidad de lineamiento detallado; así como los espectros de reflectancia de las muestras de roca.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Etapas de una mina

Las diversas etapas que implica el quehacer minero tienen un periodo de maduración muy variable, en función a la magnitud del proyecto, la ubicación y servicios disponibles en él, el tipo de yacimiento y mineral, del capital con que se cuente, etc. Es necesario desarrollar varias etapas, antes de empezar a producir, no pudiendo avanzar a una siguiente etapa hasta no haber culminado la anterior.

Estas son:

- Cateo y prospección
- Exploración
- Desarrollo y construcción
- Producción
- Cierre y postcierre

2.2.1.1. El cateo y la prospección

Al principio se tiene como tarea el identificar la zona donde se ubica el yacimiento minero. Para ello se procede a realizar el cateo, una etapa de cateo que está referido a la identificación visual de posibles zonas de alteración de manera básica, poco detallada y la etapa de prospección que es la etapa de búsqueda detallada y se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para realizar un trabajo eficiente y rápido, como las fotos aéreas, prospección satelital, técnicas geofísicas (para observar propiedades físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados).

La minería actual, cada vez más hace de nuevas técnicas con alta capacidad tecnológica, como es el caso de la prospección satelital generando eficiencia y eficacia en estos procesos mineros.

Para ello, se estudia el terreno, las rocas, su composición química y su abundancia, de forma que se pueda saber si es que se puede construir una mina.

En base a los resultados del cateo y la prospección, se elige el área para un estudio más detallado, que permita comprobar la existencia de minerales. En este momento es que se debe solicitar un petitorio ante las autoridades respectivas, sobre el área donde se presume exista un posible yacimiento mineral, procedimiento que asegura el derecho sobre los posibles minerales que en la zona solicitada se encuentren.

Aprobada la solicitud de petitorio, se obtiene la concesión. Entonces se puede continuar con estudios más detallados que pueden tomar varios años, por lo que se conserva el derecho de explotación del área mediante un pago anual, que se llama Derecho de Vigencia.

2.2.1.2. La exploración.

Si bien todas las etapas del ciclo de vida de una mina son importantes, la exploración tiene un papel más significativo, en tanto que los estudios que en ese momento se realizan permiten determinar la magnitud (reserva) y calidad (ley) del mineral que se encuentra en el yacimiento.

Para ello se realizan estudios más detallados sobre el yacimiento, incluyendo perforaciones, muestreos, análisis del contenido y tipo de mineral, entre otros, buscando definir si el mineral es recuperable y a qué costo. Así, la exploración y los estudios más detallados ayudan a determinar si es viable económicamente la explotación de un yacimiento¹. Es importante recalcar respecto de la exploración dos características claves:

Es una actividad que se realiza de forma continua en el quehacer minero. Esta se realiza tanto en los trabajos de un proyecto nuevo o sobre yacimientos que estén en producción (ampliación de operaciones).

Es el mecanismo mediante el cual el minero busca incrementar su nivel de reservas probadas (determinadas con certeza) desde aquellas reservas probables (estimadas a partir de información menos completa). Y en base a este incremento de reservas logrará extender la vida útil de la mina.

De acuerdo al impacto previsto de la actividad de exploración, el titular minero deberá presentar una Declaración Jurada o una Evaluación Ambiental, donde señale los impactos y controles a ejecutar por efectos de su presencia.

Confirmada la información respecto a la calidad y cantidad de mineral del yacimiento, se deben de realizar otros análisis y estudios previos al desarrollo de la mina.

2.2.1.3. Desarrollo y construcción

En esta fase se culmina la planificación y se ejecutan los trabajos de infraestructura necesaria para realizar la explotación.

Es claro que los trabajos dependerán del método de extracción, así como de la infraestructura para el transporte del mineral. El estudio de Factibilidad permitirá seleccionar el método de explotación (subterráneo o tajo abierto), de acuerdo a las características del yacimiento y su viabilidad. La técnica de extracción subterránea se emplea, generalmente, cuando el mineral se encuentra a mucha profundidad. Por el contrario, si el yacimiento está cerca de la superficie, su tamaño es muy grande o se encuentra diseminado (esparcido) se usa la técnica de extracción a tajo abierto.² Todo se planifica antes de extraer el primer gramo de mineral.

2.2.1.4. Producción (explotación)

Luego de haber culminado las etapas antes mencionadas, recién se puede obtener el mineral. Los pasos previos son rigurosos, no obstante, la explotación minera es en sí misma es una etapa mucho más específica y particular.

Sin embargo, vale la pena aclarar que el mineral extraído de por sí no es comerciable, porque contiene gran cantidad de impurezas y está mezclado con rocas sin valor. Por ese motivo se lo sujeta a un tratamiento, para generar valor. La “generación de valor” del mineral se hace mediante distintos procesos (físicos, químicos, y/o físico-químicos, o hidrometalúrgicos) De estos procesos se obtiene las partes valiosas y se desecha las que no tienen valor comercial. Si bien los procesos también van a ser motivo de un futuro informe quincenal, podemos señalar que los contenidos valiosos (metálicos) se obtienen por técnicas que van a depender del *tipo de mineral* que se está procesando. Finalmente, la refinación y fundición permite “purificar” los metales obtenidos, y es en este momento que recién sirven para su transformación o uso industrial (lingotes, barras, etc.). La etapa de producción es la que más años de duración tiene, influenciada por los costos de operación, el precio de los minerales y el volumen de reservas.

2.2.1.5. El cierre y postcierre de la mina

Cuando la mina deja de operar, porque ya no tiene reservas de mineral que resulten económicamente viables de ser trabajadas, se procede a su cierre. El cierre se inicia desde el momento que se inicia la operación minera.

El cierre de la mina es programado desde antes de su inicio y tiene como objetivo rehabilitar las áreas donde se desarrolló la actividad minera.³ Para lograrlo, se desmantelan los equipos e instalaciones que se usaron en el ciclo de vida de la mina y se recuperan las zonas afectadas. El postcierre, por su parte, es una etapa de monitoreo y mantenimiento de los alcances del cierre, con la finalidad de verificar que el cierre de mina haya sido efectivo.

2.2.2. Clasificación de minerales económicos

La clasificación siguiente de los minerales económicos se basa en su componente esencial y en su aplicación:

- Yacimientos metálicos
- Yacimientos no metálicos
- Material energético

2.2.2.1. Yacimientos metálicos incluyen

- Menas de metales ferrosos como hierro, manganeso, molibdeno, wolframio
- Metales básicos como cobre, plomo, cinc, estaño
- Metales preciosos como oro, plata, platino
- Metales radioactivos como uranio, torio, radio.

2.2.2.2. Yacimientos no metálicos son:

- Fosfato
- Carbonato potásico
- Carbonato cálcico CaCO_3 (CaO para la producción de cemento)
- Sal
- Arcillas
- Salitre
- Guano
- Zeolitas
- Liparita (piedra pómez)
- Diatomita
- Azufre
- Asbesto
- Talco
- Agua subterránea
- Agua termal

2.2.2.3. Material energético incluye

- Carbón
- Petróleo
- Gas natural
- Lignito

2.2.3. Principios de la prospección satelital para la búsqueda de yacimientos minerales

El principio de la teledetección satelital se basa en la interacción entre la energía electromagnética y la materia, determinar por las propiedades físicas de la materia y por las longitudes de onda electromagnética incidente y detectada.

Las principales técnicas de prospección satelital emplean energía electromagnética como las ondas de luz, las ondas térmicas y las ondas sonoras en investigaciones subacuáticas.

En la presente investigación se utilizará las técnicas de prospección satelital con el objetivo de identificar áreas de interés prospectivo de yacimientos metálicos, utilizando teledetección, mediante imágenes satelitales Áster y Landsat OLI - TIRS.

Para lo cual se utilizará principios básicos de prospección mineral como son las características mineralógicas por tipo de yacimiento metálico y principios sobre teledetección que nos servirá para la manipulación de las imágenes satelitales, esta información combinada nos permitirá determinación de zonas de interés mineral.

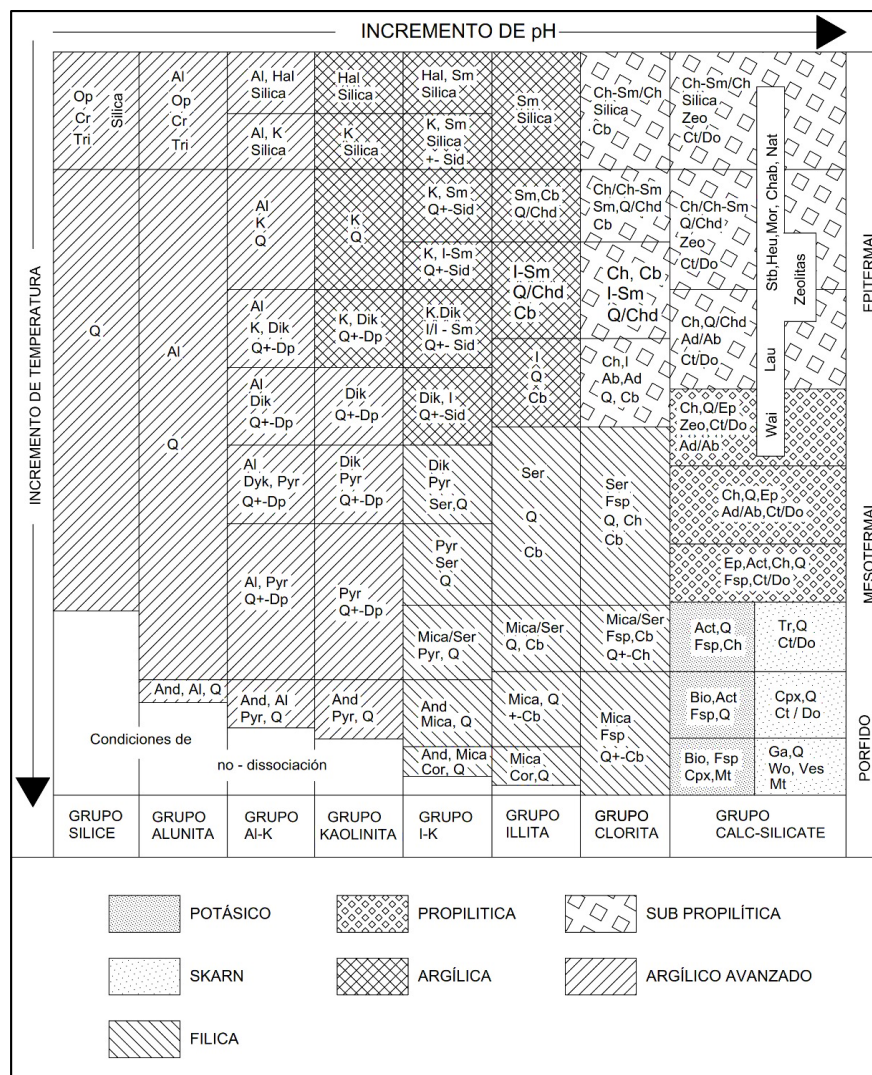


Figura 1: Minerales característicos en yacimientos metálicos. (Leach, 1998)

Ab-albita; Act-actinolita; Ad-adularia; Al-alunita; And-andalucita; Bio-biotita; Cb-carbonatos (Ca,Mg,Mn,Fe); Ch-clorita, Chab-chabazita; Ch-Sm-clorita-esmectita; Cor-corindón; Cpx-clinopiroxeno; Cr-cristobalita; Ct-calcita; Do-dolomita; Dik-dickita; Dp-diaporo; Ep-epidota; Fsp-feldespato; Ga-granate; Hal-galapectita; Heu-heulandita; I-illita; I-Sm-illita- esmectita; K-caolinita; Lau-laumontita; Mt-magnetita; Mor-mordenita; Nat-natrolita; Op-opalo; Pyr-pirofilita; Q-cuarzo; Ser-sericita; Sid-siderita; Sm-esmectita; Stb-estilbita; Tr-tremolita; Tri-tridimita; Ves-vesuvianita; Wai-wairaquita; Wo-Wollastonita; Zeo-zeolita

Tabla 1: Ensamblajes minerales asociados a yacimientos metálicos.

Ensamble Mineral	Alteración	Depósito de Mineral Metálico
Cuarzo - Muscovita	Greisen	Be, Sn, Sn-W, Be-W, Mo, Li, etc.
Cuarzo - Feldespatos	Potásica	Sn-W, W-Mo, W-Cu-Zn, Mo-Cu
Cuarzo - Secundario	Silificación	Mo-Cu, Al, Cu-As, Ag-Au, Cu-Pb, Ag, Sb
Cuarzo - Sericita	Sericitización	Mo-Cu, Pb-Ag-Au, Fe-Cu-Zn-Pb
Cuarzo - Caolín	Argilización	S, Fe, Hg, Ag-Au, U, Hg-Sb, Pb-Zn-Sb
Caolín	Caolinización	Cu, Pb-Zn, Sb, Hg, Fluorita
Clorita - Epidota - Calcita - Pirita	Propilitización	Pb-Zn-Cu, Pb-Ag, Ag-Au, Hg-Sb, Mo
Cuarzo - Clorita	Cloritización	Cu-Fe, Pb-Zn, Cu-Sn, Au y Cr
Cuarzo - Laumontita	Zeolitización	Pb-Zn-Ag-Cu
Alunita - Ópalo	Alunitización	Au-Ag
Alunita - Cuarzo	Alunitización	Zn-Cu-Pb
Cuarzo - Ankerita	Listvenitización	Au, Au-As, Zn-Be-Cu-Ag, Co-Ni-Ag-U, U, F, Hg-Sb
Dolomita	Dolomitización	Pb, Pb-Zn, Fe y Hg
Cuarzo - Turmalina	Turmalinización	Au-As-Cu, Sn-Cu-Pb, Cu.
Hematita	Hematización	U
Cuarzo - Epidota - Anfíbol	?	Fe-Cu, Zn-Pb-Cu

Fuente: Geología de los depósitos minerales (J. Valera)

2.2.4. Teledetección.

2.2.4.1. Principios básicos de teledetección.

Teledetección (Remote Sensing) es la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que se está investigando. La obtención de los datos involucra el uso de instrumentos llamados sensores capaces de ver o captar las relaciones espectrales y espaciales de objetos y materiales observables a una considerable distancia de aquellos (LILESAN; KIEFER, 1994).

2.2.4.2. Radiación electromagnética

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan en el vacío a la velocidad de la luz (300000 Km/s) transportando cantidades discretas de energía. (Sigmur, 2006)

2.2.4.3. El espectro electromagnético

La teledetección es la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. El sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella. Ese flujo reflejado se recoge por el sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original. De igual forma la observación remota puede basarse en energía emitida por las propias cubiertas, o en la que podríamos enviar desde un sensor que fue capaz, tanto de generar su propio flujo energético, como de recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre. (Sigmur, 2006)

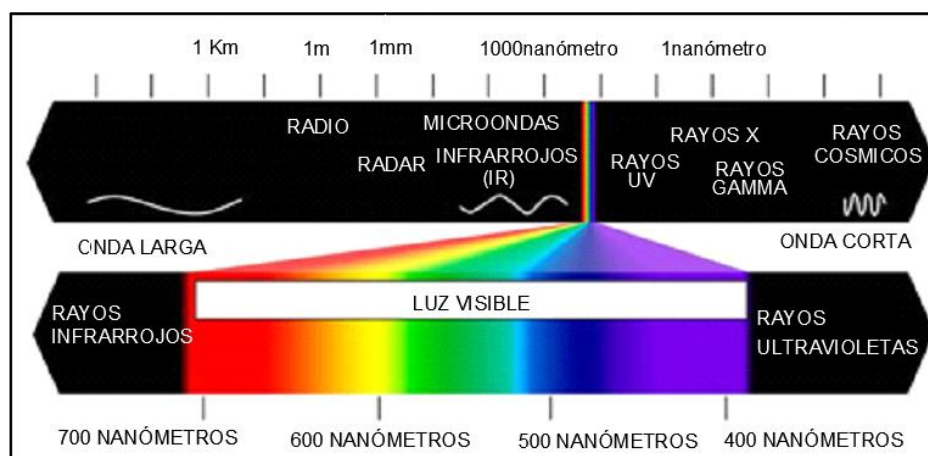


Figura 2: Espectro electromagnético.

Fuente: (USGS, 2016)

2.2.4.4. Firma Espectral

La teledetección se basa en la interacción del espectro electromagnético y la cubierta terrestre. Cuando realizamos un gráfico en el que representamos la cantidad de radiación reflejada por una superficie y la relacionamos con la longitud de onda electromagnética, obtenemos lo que se denomina firma espectral, y al conjunto codificado de estas es denominado librería espectral.

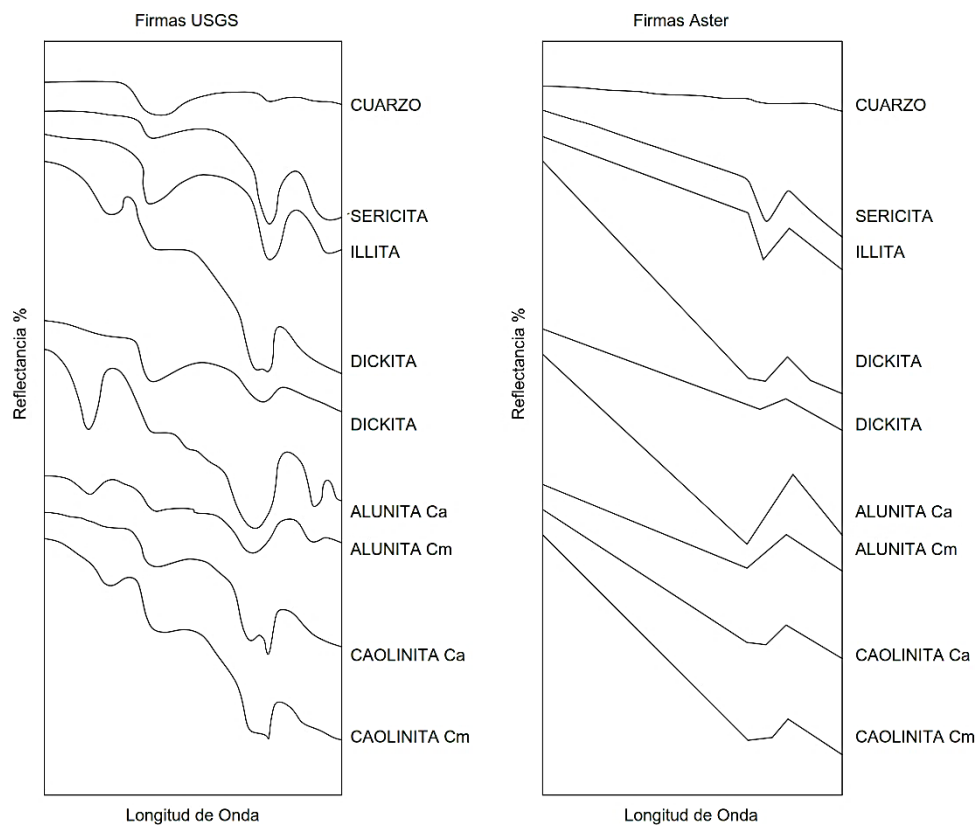


Figura 3: Librería espectral y firmas espectrales de minerales.

Fuente: (USGS, 2016).

Una firma espectral es una gráfica compuesta por las longitudes de onda en función de la energía reflejada para cada material, sirve a manera de huella digital para la identificación de los diferentes materiales.

Conociendo la firma espectral de materiales que necesitamos estudiar, podemos clasificar de manera más o menos sencilla, los píxeles correspondientes a dicha cubierta. Así, citando un ejemplo clásico, la vegetación tiene una firma espectral caracterizada por un pico de reflexión en infrarrojo cercano, lo que permite diferenciarla de otras cubiertas que en el rango del visible tengan una respuesta espectral semejante

Dentro de la firma espectral, dependiendo de las longitudes de onda analizada, es posible el análisis particularizado de características de la cubierta bajo estudio.

2.2.4.5. EL efecto de la atmosfera sobre la energía electromagnética

Este efecto de la atmósfera (atenuación atmosférica) es producido particularmente por la presencia de partículas en suspensión. Las partículas, según su tamaño, afectan distintas longitudes de onda. El caso extremo son las nubes, las cuales pueden ocultar por completo el suelo, aunque cuando son tenues también afectan la transmisión de luz de una manera distinta según las longitudes de onda.

2.2.4.6. Imágenes ASTER.

ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón METI. En 1999 el instrumento se lanzó a bordo del satélite TERRA de la NASA. El objetivo principal de la misión ASTER es mejorar el entendimiento de los procesos a escala local y regional que ocurren sobre o cerca de la superficie de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera.

ASTER presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001). ASTER también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos.

Tabla 2: Subsistemas que compone una imagen ASTER.

Subsistema	Banda No.	Rango espectral μm (micrómetro)	Resolución Espacial	Resolución Radiométrica
VNIR	1	0.52-0.60 μm	15 m	8 bits
	2	0.63-0.69 μm		
	3N	0.78-0.86 μm		
	3B	0.78-0.86 μm		
SWIR	4	1.600-1.700 μm	30 m	8 bits
	5	2.145-2.185 μm		
	6	2.185-2.225 μm		
	7	2.235-2.285 μm		
	8	2.295-2.365 μm		
	9	2.360-2.430 μm		
TIR	10	8.125-8.475 μm	90 m	12 bits
	11	8.475-8.825 μm		
	12	8.925-9.275 μm		
	13	10.25-10.95 μm		
	14	10.95-11.65 μm		

Fuente: (USGS, 2016)

A. Subsistema VNIR

El subsistema VNIR se compone de dos conjuntos de telescopio independientes para minimizar la imagen distorsión en los telescopios que miran hacia atrás y hacia abajo (Figura 4). Los detectores para cada uno de las bandas constan de 5000 elementos de detectores acoplados a carga de silicio (CCD). Solo 4000 de estos los detectores se usan en cualquier momento. Se produce un retraso de tiempo entre la adquisición del retroceso imagen y la imagen nadir. Durante este tiempo, la rotación de la tierra desplaza el centro de la imagen. El VNIR subsistema extrae automáticamente los 4000 píxeles correctos en función de la información de posición de la órbita suministrado por la plataforma EOS.

El sistema óptico VNIR es un diseño Schmidt mejorado con refracción reflectante. El atraso mirando el plano focal del telescopio contiene solo un conjunto de detectores y utiliza un filtro de interferencia para la discriminación de longitud de onda. El plano focal del telescopio nadir contiene 3 arreglos lineales y utiliza un prisma dicróico y filtros de interferencia para la separación espectral que permite a las tres bandas ver la misma área simultáneamente. El telescopio y los detectores se mantienen a $296 \pm 3\text{K}$ utilizando control térmico y enfriamiento desde una placa

fría proporcionada por la plataforma. Calibración a bordo de los dos telescopios VNIR se logran con cualquiera de los dos dispositivos de calibración independientes para cada telescopio. La fuente de radiación es una lámpara halógena. Un rayo divergente de la lámpara el filamento se introduce en el primer elemento óptico (corrector Schmidt) del subsistema del telescopio llenando parte de la apertura. Los elementos del detector son irradiados uniformemente por este haz. En cada dispositivo de calibración, dos fotodiodos de silicio se utilizan para controlar el resplandor de la lámpara. Uno fotodiodo monitorea el filamento directamente y el segundo monitorea el haz de calibración justo en frente al primer elemento óptico del telescopio. Las temperaturas de la base de la lámpara y fotodiodos también son monitoreadas. Disposición para la calibración eléctrica de los componentes electrónicos también se proporciona.

El sistema de señal a ruido se controla especificando que NE delta rho (ρ) es $<0.5\%$ referenciado a un objetivo difuso con un 70% de albedo en el ecuador durante el equinoccio. El absoluto la precisión radiométrica es de $\pm 4\%$ o mejor.

El subsistema VNIR produce con diferencia la mayor velocidad de datos de las tres imágenes ASTER subsistemas. Con las cuatro bandas operando (3 nadir y 1 hacia atrás) la velocidad de datos incluida la imagen datos, información suplementaria y datos de ingeniería del subsistema son 62 Mbps. (USGS, 2016)

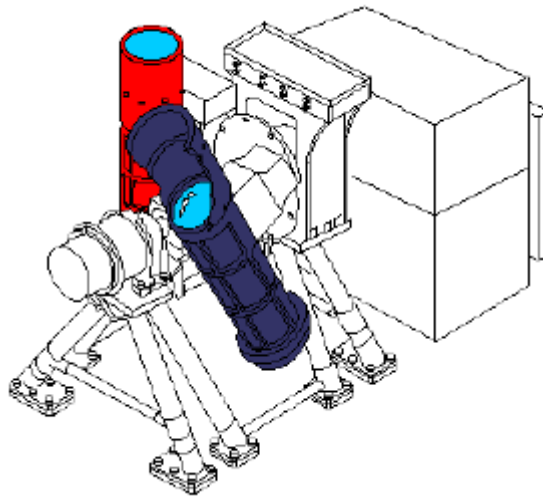


Figura 4: Subsistema VNIR

Fuente: (USGS, 2016)

B. Subsistema SWIR

El subsistema SWIR usa un solo telescopio de refracción esférica (Figura 5). El detector en cada de las seis bandas es una matriz lineal de barrera Schottky de Silicio-Silicio Platino (PtSi-Si) enfriada a 80K. Un crioenfriador de ciclo dividido Stirling con compresores opuestos y un equilibrador activo para compensar el expansor desplazador proporcionar refrigeración. La vida de diseño en órbita de este refrigerador es 50,000 horas. Aunque ASTER opera con un bajo ciclo de trabajo (8% de recopilación de datos promedio de tiempo), el refrigerador criogénico funciona continuamente porque el tiempo de enfriamiento y estabilización es largo.

Ningún cyrocooler ha demostrado esta duración del rendimiento y el desarrollo de este enfriador de larga duración fue uno de los principales desafíos técnicos que enfrenta el equipo de ASTER.

El refrigerador criogénico es una fuente importante de calor. Debido a que el refrigerador está conectado al telescopio SWIR, que debe poder moverse libremente para proporcionar una orientación cruzada, este calor no puede eliminarse usando una plataforma provista placa fría. Este calor se transfiere a un radiador local conectado al enfriador compresor e irradiado en el espacio.

Seis filtros de paso de banda ópticos se utilizan para proporcionar separación espectral. Sin prismas ni dicroicos los elementos se usan para este propósito. Un dispositivo de calibración similar al utilizado para el VNIR subsistema se utiliza para la calibración en vuelo. La excepción es que el subsistema SWIR solo tiene uno de esos dispositivos.

La precisión radiométrica absoluta es + 4% o mejor. La velocidad de datos combinados para los seis SWIR las bandas, incluida la telemetría suplementaria y la telemetría de ingeniería, son de 23 Mbps. (USGS, 2016)

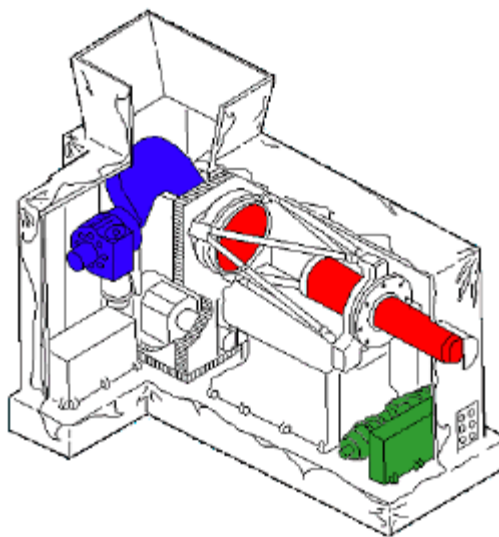


Figura 5: Subsistema SWIR
Fuente: (USGS, 2016)

C. Subsistema TIR

El subsistema TIR utiliza un sistema catadióptrico newtoniano con un espejo primario esférico y lentes para la corrección de la aberración (Figura 6). A diferencia de los telescopios VNIR y SWIR, el telescopio del subsistema TIR se corrige con apuntar y escanear realizado por un espejo. Cada banda usa 10 Detectores de mercurio-cadmio-telururo (HgCdTe) en una matriz escalonada con paso de banda óptico filtros sobre cada elemento detector. Cada detector tiene su propio amplificador previo y posterior para un total de 50.

Al igual que con el subsistema SWIR, el subsistema TIR utiliza un enfriador de ciclo Stirling de división mecánica para manteniendo los detectores a 80K. En este caso, como el enfriador está fijo, el calor residual lo genera se elimina utilizando una placa de suministro de plataforma.

El espejo de escaneo funciona tanto para escanear como para apuntar. En el modo de escaneo, el espejo oscila a aproximadamente 7 Hz. Para la calibración, el espejo de escaneo gira 180 grados desde el nadir posición para ver un cuerpo negro interno que se puede calentar o enfriar. El escaneo / apuntando el diseño del espejo impide una vista del espacio frío, por lo que en un momento dado solo una temperatura de un solo punto la calibración puede ser efectuada. El sistema contiene una temperatura controlada y monitoreada chopper para eliminar la deriva de baja frecuencia. En vuelo, se puede hacer una calibración de punto único frecuentemente (por ejemplo, cada observación) si es necesario. En un intervalo menos frecuente, el cuerpo negro puede se debe enfriar o calentar (a una temperatura máxima de 340 K) para proporcionar una temperatura térmica multipunto calibración. También se proporciona una instalación para la calibración eléctrica de los amplificadores posteriores.

Para el subsistema TIR, la señal-ruido puede expresarse en términos de un NE delta T. El requisito es que el NE delta T sea inferior a 0.3K para todas las bandas con un objetivo de diseño de menos de 0.2K. La señal de referencia para NE delta T es un emisor de cuerpo negro a 300K. La exactitud requisitos para el subsistema TIR se dan para cada uno de varios rangos de temperatura de brillo de la siguiente manera: 200 - 240K, 3K; 240 - 270 K, 2 K; 270 - 340 K, 1 K; y 340 - 370K, 2K.

La velocidad total de datos para el subsistema TIR, incluida la telemetría y la ingeniería complementarias telemetría, es 4.2 Mbps. Debido a que el subsistema TIR puede devolver datos útiles tanto de día como de noche, el ciclo de trabajo para este subsistema se establece en 16%. El refrigerador criogénico, como el del subsistema SWIR, opera con un ciclo de trabajo del 100%. (USGS, 2016)

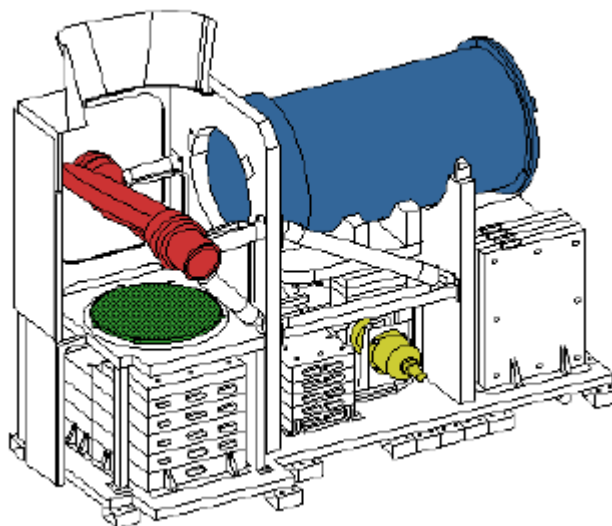


Figura 6: Subsistema TIR
Fuente: (USGS, 2016)

2.2.4.7. Imágenes LANDSAT OLI - TIRS.

LANDSAT OLI – TIRS es un satélite de observación terrestre estadounidense lanzado el 11 de febrero de 2013. Es el octavo y más reciente satélite del proyecto Landsat operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde 1972.

El satélite transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operacional Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm , mientras que TIRS registra de 10.30 μm a 12.50 μm

Tabla 3: Características de las bandas de LANDSAT OLI - TIRS

Banda	Nombre	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
1	Costera - Aerosoles	0.435 - 0.451	30
2	Azul	0.452 - 0.512	30
3	Verde	0.533 - 0.590	30
4	Rojo	0.636 - 0.673	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 - 1.651	30
7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 - 2.294	30
8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
9	Cirrus	1.363 - 1.384	30
10	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
11	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100

Fuente: (USGS, 2016)

A. Sensor OLI

El sensor Operacional Land Imager (OLI) avanza en la tecnología de sensores Landsat, utilizando un enfoque demostrado ya por el sensor Advanced Land Imager ubicado en el satélite experimental de la NASA Observing- 1 (EO-1). En el comienzo los satélites Landsat estaban equipados con sensores "whiskbroom" los cuales empleaban espejos de exploración como instrumentos visión para barrer el campo espectral a través de un ancho de banda superficial y transmitir la luz a unos detectores. A diferencia del OLI, el cual utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías larga de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. El diseño del "pushbroom" lo hace un instrumento más sensible proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles (Fig. 7). Sus imágenes tienen una resolución espacial de 49 pies (15 m) pancromáticas y 98 pies (30 metros) (incluido el visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta) a lo largo de 115 millas (185 kilómetros) de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra mientras que proporciona una resolución suficiente como para distinguir las características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo.

(USGS, 2013)



Figura 7: Construcción del sensor OLI en el satélite LDCM.

Fuente: (USGS, 2013)

El OLI fue diseñado para tener una vida útil de cinco años y detectará las mismas bandas espectrales de los anteriores instrumentos del Landsat (es decir sensores, TM y ETM+), con la excepción de una banda en el infrarrojo térmico. Además de las 7 bandas multiespectral del

anterior Landsat (seis de los cuales han sido refinadas) OLI agregará dos nuevas bandas espectrales, una banda azul "costera" (banda 1) y una banda en el infrarrojo de onda corta "cirros" (banda 9). Estas nuevas bandas, ayudaran a los científicos a medir la calidad del agua y facilitaran la detección de nubes altas y delgadas que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat.

El telescopio tiene cuatro espejos con un diafragma de apertura frontal que es de 135 mm. La matriz de plano focal (FPA) se compone de un sensor de 14 chips ensamblados (SCA) como se muestra en la Figura 8, los cuales se enfrían pasivamente. Cada SCA contiene 494 detectores con un adicional de 12 píxeles de vídeo de referencia que no responden a la luz (USGS y NASA. 2013).

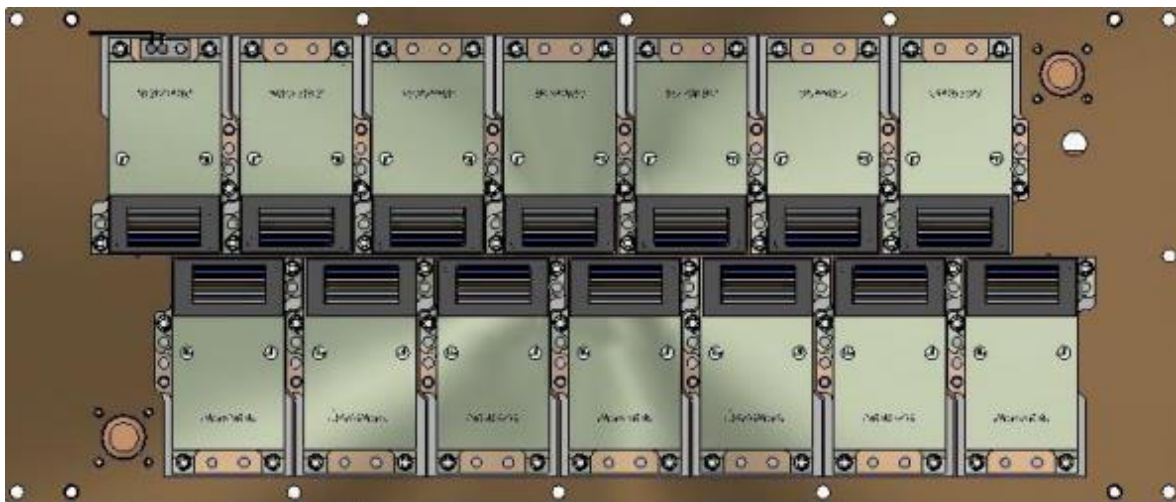


Figura 8: Sensor OLI, montaje del plano focal (USGS y NASA. 2013)

B. Sensor TIRS

Todo en la Tierra emite radiación térmica infrarroja, termino comúnmente conocido como calor. La física nos dice que la cantidad de la radiación emitida es proporcional a la temperatura del objeto. El sensor térmico infrarrojo (TIRS) fue añadido a la carga útil del LDCM cuando se hizo evidente que los gestores de los recursos hídricos se basaban en la medición de alta precisión de la energía térmica de la tierra obtenidas por los predecesores del LDCM – el TM del satélite Landsat 5 y Enhanced Thematic Mapper – Plus ETM+ del Landsat 7 – con el fin de hacer un seguimiento del uso de la tierra y el agua. La decisión de añadir el sensor TIRS se hizo después de que el diseño de la misión se había iniciado. Los ingenieros tenían menos de cuatro años para diseñar y construir TIRS por lo que recurrieron a una nueva tecnología desarrollada por la NASA llamada Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs) (Fig.9). (USGS, 2013)



Figura 9: Construcción del sensor TIRS, desarrollado por la NASA y el (GSFC) Goddard Space Flight Center.(USGS,2013).

Los detectores QWIPs están hechos de un material que es compatible con el procesamiento de silicio, lo que significa que son las mismas herramientas que utilizan en las instalaciones para hacer chips de computadora. QWIPs son muy fiables, uniformes, y muy adecuados a las necesidades del sensor TIRS.

El diseño QWIPs opera en los complejos principios de la mecánica cuántica. Chips semiconductores atrapan electrones en un estado de energía "well" hasta que los electrones se elevan a un estado superior por la luz infrarroja térmica de una determinada longitud de onda. Los electrones elevados crean una señal eléctrica que puede medirse y registrarse para crear una imagen digital.

Los satélites Landsat anteriores miden la temperatura superficial del suelo utilizando una sola banda térmica para detectar longitudes de onda largas de la luz emitida por la superficie de la tierra. Los QWIPs en el TIRS, sin embargo, detectan dos segmentos del espectro infrarrojo térmico, ambos incluidos dentro de una ventana de transmisión atmosférica, con el fin de producir mejores estimaciones de la temperatura superficial.

2.3. Definición de términos básicos

Absorción atmosférica: Indica la eliminación que realiza la atmósfera de distintos tipos de energía, en razón de sus propios componentes, y principalmente del ozono, oxígeno atómico y vapor de agua. (Chuvieco, 1996).

Banda espectral: se refiere este término a una selección de longitudes de onda con comportamiento electromagnéticos similares. (Chuvieco, 1996).

Calibración: Proceso de comparar ciertas medidas específicas con otro instrumento estándar. (Chuvieco, 1996).

Correcciones atmosféricas: Indican las operaciones digitales tendentes a eliminar errores en la adquisición de las imágenes, ya sean radiométricos o geométricos. (Chuvieco, 1996).

Emisividad: proporción entre la energía emitida por un determinado objeto y la que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura. (Chuvieco, 1996).

Espectro electromagnético: Se trata de la agrupación de la radiación electromagnética en distintas bandas, definidas por la longitud de onda o la frecuencia, que presentan un comportamiento radiométrico similar. (Chuvieco, 1996).

Firma espectral: Forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Está afectadas por las características físicas o químicas del objeto que interaccionan con la energía electromagnética, y varía según las longitudes de onda. (Chuvieco, 1996).

Infrarrojo: Porción del espectro comprendida entre 0,7 y 100 micras, que tiene gran importancia para estudios de teledetección. Normalmente suele dividirse en infrarrojo cercano, medio y lejano. Este último también se conoce como infrarrojo térmico. (Chuvieco, 1996).

Longitud de onda: Es la medida de la distancia que separa dos valores culminantes entre sucesivas ondas. (Chuvieco, 1996).

Numero digital: Valor entero que traduce numéricamente la intensidad radiométrica recibida por un sensor óptico-electrónico. (Chuvieco, 1996).

Píxel: Derivado del inglés "picture element". Es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado. (Chuvieco, 1996).

Reflectividad: Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional. (Chuvieco, 1996).

Resolución: La resolución es la medida de la habilidad de un sistema sensor para discriminar información dentro de la imagen. Refiere al tamaño de la mínima unidad de información en el terreno (espacial), al número de bandas disponibles (espectral), a los niveles de codificación (radiométrica) o a la frecuencia de cobertura (temporal). (Chuvieco, 1996).

Sensor: Cualquier instrumento que detecta energía electromagnética, la convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechada para su estudio. (Chuvieco, 1996).

Teledetección: Es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación. (Chuvieco, 1996).

2.4.Hipótesis

El análisis mediante la teledetección de imágenes Aster Y Landsat OLI-TIRS permitirá determinar áreas con posibilidad de albergar zonas específicas de interés prospectivo metálico.

CAPÍTULO 3. GENERALIDADES

3.1. Ubicación

El distrito de Namora se encuentra en la provincia de Cajamarca. Limita al norte con Los Baños del Inca y Encañada, por el sur con Jesús y Matara, al este con la provincia de Celendín y al oeste con parte de Jesús y con el distrito de Llacanora.

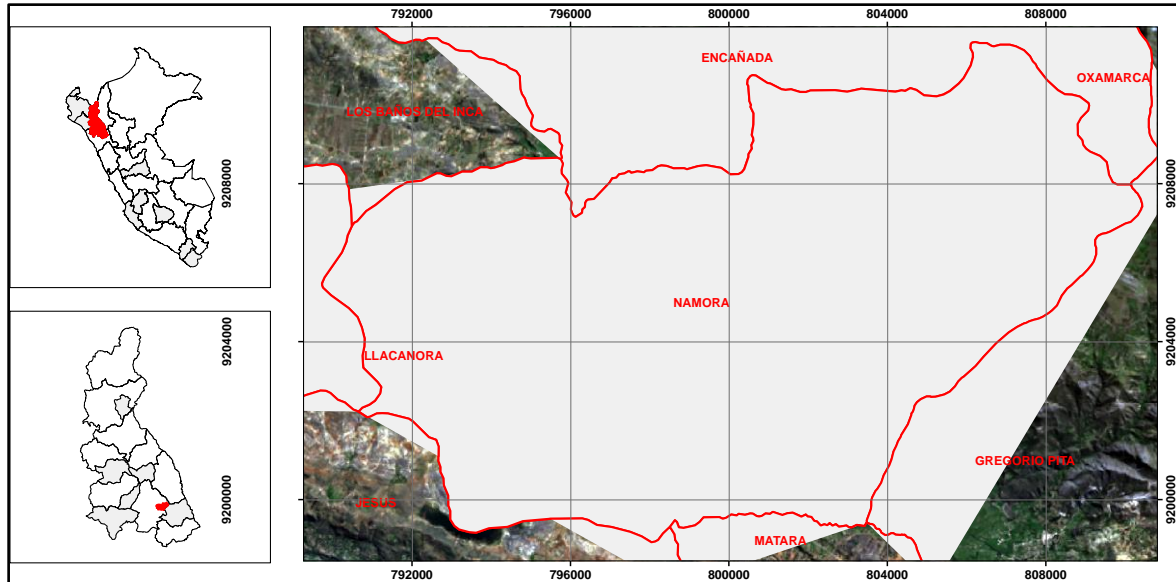


Figura 10: Ubicación del distrito de Namora.

El área de estudio queda limitada en las siguientes coordenadas referenciales que enmarca el distrito de Namora.

Tabla 4: Coordenadas de referencia de la zona de estudio.

Punto	Este	Norte
01	789400	9211800
02	789400	9198600
03	810740	9198600
04	810740	9211800

Fuente: Elaboración de los investigadores

3.2. Población

El distrito de Namora ocupa una superficie de 180.69 km², abarcando el 6.06% de la provincia de Cajamarca. Fue creado mediante Ley Regional N. 218 del 14 de agosto de 1920. Su capital es el pueblo de Namora emplazado a 2733 m.s.n.m. y tiene una población de 8552 habitantes.

3.3. Accesibilidad

El Distrito de Namora, se encuentra en la Vía de la Longitudinal de la Sierra. Al desplazarnos por la Carretera asfaltada Cajamarca – Cajabamba, encontramos en el kilómetro 25 al Distrito de Namora. Namora está interconectado con todas las capitales de los caseríos, mediante, carretera afirmada y trochas. Sus coordenadas geográficas son 7°11'59" de latitud sur; y los 7°19'24" de longitud oeste. Tiene una extensión de 2.60 kilómetros cuadrados.

3.4. Mineralogía espectral

Tabla 5: Mineral Actinolita.


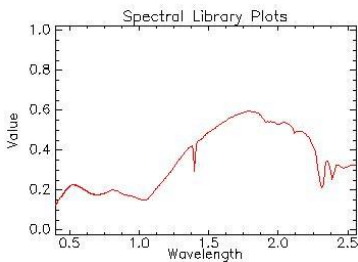
Actinolita	
Fórmula	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Categoría	Inosilicatos del grupo de los anfíboles
	 <p>Asociación: talco, glaucofana, epidota, albita, grupo de la clorita.</p>

Tabla 6: Mineral Adularia.


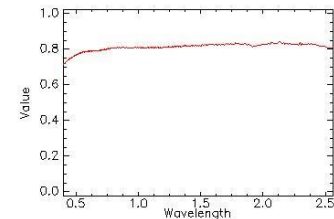
Adularia	
Fórmula	$(\text{Si}_6\text{O}_{18})\text{Al}_2\text{Be}_3$
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: clorita, hematites, rutilo, actinolita</p>

Tabla 7: Mineral Albita.


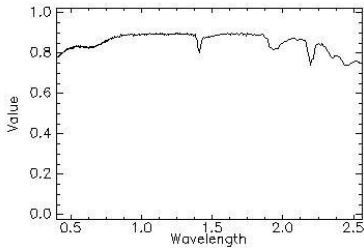
Albita	
Fórmula	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Categoría	Grupo de los silicatos, subgrupo Tectosilicato y dentro de ellos pertenece a los feldespatos
	 <p>Asociación: cuarzo, turmalina y moscovita</p>

Tabla 8: Mineral Alunita.


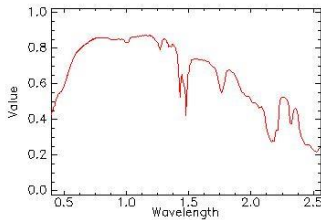
Alunita	
Fórmula	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Categoría	Sulfato
	 <p>Asociación: cuarzo, pirita, caolinita, halloysita, yeso y diásporo.</p>

Tabla 9: Mineral Andalucita.


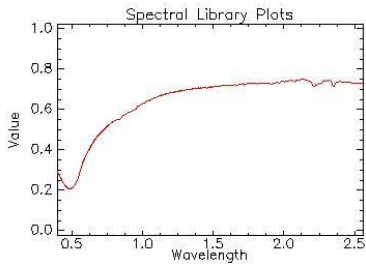
Andalucita	
Fórmula	Al_2SiO_5
Categoría	Nesosilicatos
	 <p>Asociación: Cianita Silimanita</p>

Tabla 10: Mineral Ankerita.


Ankerita	
Fórmula	$\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$
Categoría	Carbonatos
	<p>Se explota como mena de hierro, aunque es de escasa riqueza. Los yacimientos de este mineral son abundantes</p> <p>Asociación: dolomita, siderita y cuarzo</p>

Tabla 11: Mineral Biotita.


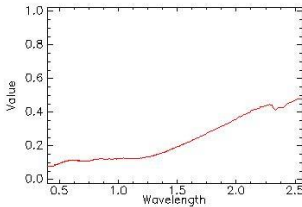
Biotita	
Fórmula	$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$
Categoría	Filosilicato
	 <p>Asociación: rocas ígneas (granitos, sienitas Traquitas), metamórficas y sedimentarias.</p>

Tabla 12: Mineral Calcita.


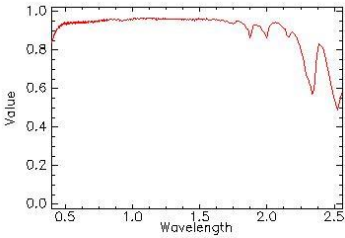
Calcita	
Fórmula	$CaCO_3$
Categoría	Carbonato
	 <p>Asociación: Aragonito, Dolomita, Siderita</p>

Tabla 13: Mineral Caolinita.


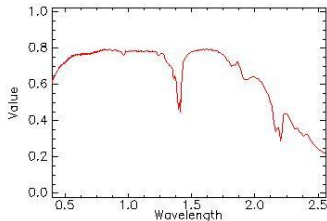
Caolinita	
Fórmula	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$
Categoría	Filosilicato
	 <p>Asociación: clorita, illita, montmorillonita, epidota. Ortoclasa/sanidina.</p>

Tabla 14: Mineral Chabasita.


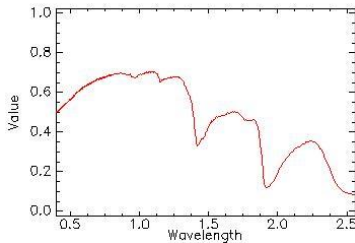
Chabasita	
Fórmula	$Ca(Si_4Al_2)O_{12} \cdot 6H_2O$
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: natrolita, chabazita, mesolita, mordenita,</p>

Tabla 15: Mineral Clorita.


Clorita	
Fórmula	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$
Categoría	Aluminosilicato
	<p>Son minerales de origen metamórfico que cristalizan en el sistema monoclinico y que se encuentran en forma de láminas flexibles de color verde. Se forman por transformación y alteración de la augita, la biotita y la hornblenda.</p> <p>Asociación: cuarzo, illita, calcita y pirita</p>

Tabla 16: Mineral Corindón.


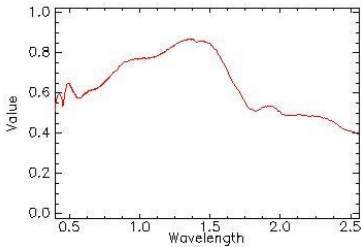
Corindón	
Fórmula	Al_2O_3
Categoría	Óxido
	 <p>Asociación: topacio ,andalucita</p>

Tabla 17: Mineral Cristobalita.


Cristobalita	
Fórmula	SiO ₂
Categoría	Óxido
	<p>Aparece relleno de cavidades y vesículas de rocas volcánicas, como una fase de cristalización tardía en rocas volcánicas basálticas a riolíticas, formado por la alteración hidrotermal tipo ácido-sulfato de las rocas volcánicas</p> <p>Asociación: tridimita, cuarzo, sanidina, magnetita, caolinita, alunita u ópalo.</p>

Tabla 18: Mineral Cuarzo.

Cuarzo	
Fórmula	SiO ₂
Categoría	Silicato
	 <p>Asociación: albita, clorita, uralita, sericita.</p>

Tabla 19: Mineral Diásporo.

Diásporo	
Fórmula	AlO(OH)
Categoría	Óxido
	 <p>Asociación: Calcita, Cianita, Corindón, Clorita, Pirofilita, Hematita, Caolinita</p>

Tabla 20: Mineral Dickita.


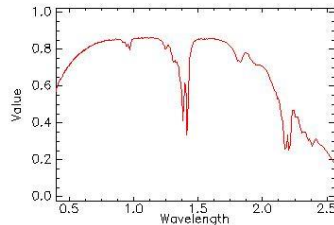
Dickita	
Fórmula	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Categoría	Filosilicato
	 <p>Asociación: Calcedonia</p>

Tabla 21: Mineral Dolomita.


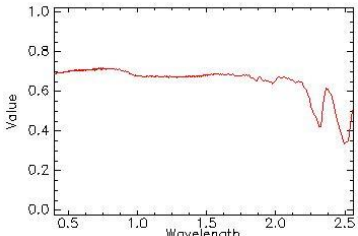
Dolomita	
Fórmula	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Categoría	Carbonato
	 <p>Asociación: calcita, cuarzo y <i>minerales</i> metálicos Pb Zn</p>

Tabla 22: Mineral Epidota.


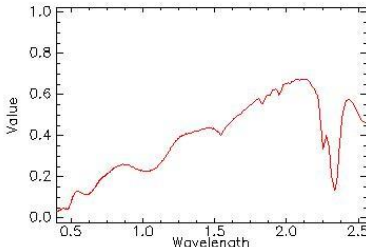
Epidota	
Fórmula	$\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
Categoría	Sorosilicato
	 <p>Asociación: Cuarzo, Albita, Moscovita, Anhidrita</p>

Tabla 23: Mineral Esmeclita.


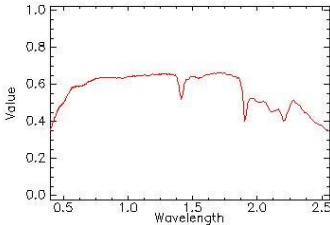
Esmeclita	
Fórmula	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
Categoría	Silicato
	 <p>Asociación: Illita, sepiolita, caolinita</p>

Tabla 24: Mineral Estilbita.


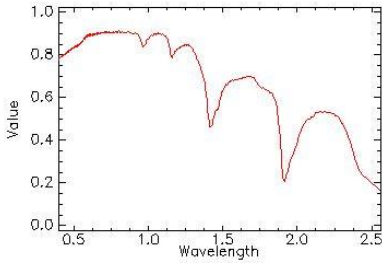
Estilbita	
Fórmula	$\text{NaCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9) \text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$.
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: zeolitas, prehnita, calcita o cuarzo.</p>

Tabla 25: Mineral Halloysita.

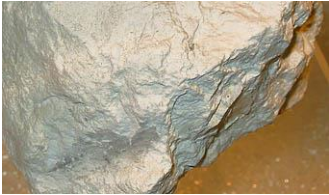
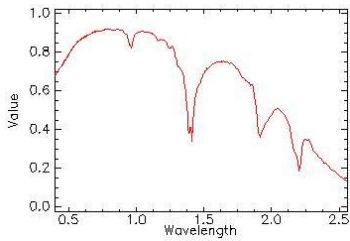
Halloysita	
Fórmula	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Categoría	Filosilicato
	 <p>Asociación: dickita, caolinita, montmorillonita</p>

Tabla 26: Mineral Granate.

Granate	
Fórmula	$(\text{Ca,Fe,Mg,Mn})_3(\text{Al, Fe, Mn,Cr,Ti,V})_2(\text{SiO}_4)_3$
Categoría	Silicato
	<p>Los granates son minerales claves para interpretar la génesis de varias rocas ígneas y metamórficas mediante la geotermobarometría. La difusión de elementos es relativamente lenta en los granates comparado con muchos otros minerales,</p> <p>Asociación: calcita, flogopita, magnetita, hematites, magnesita.</p>

Tabla 27: Mineral Hematita.

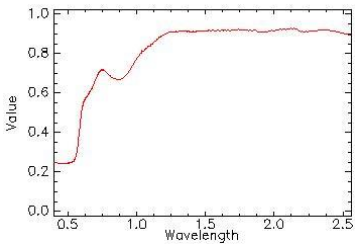
Hematita	
Fórmula	Fe_2O_3
Categoría	Óxido
	 <p>Asociación: Cuarzo, Siderita, Limonita, Magnetita, Limonita,</p>

Tabla 28: Mineral Heulandita.


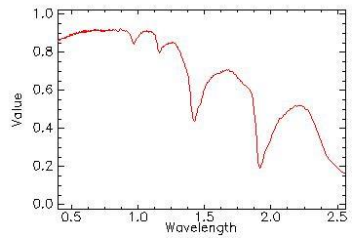
Heulandita	
Fórmula	$\text{KCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: Calcita y Baritina</p>

Tabla 29: Mineral Illita.


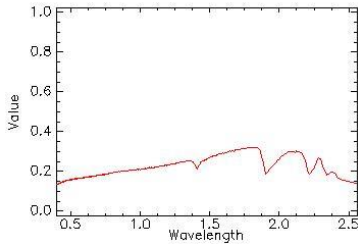
Illita	
Fórmula	$(K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
Categoría	Silicato
	 <p>Asociación: Generalmente a la Clorita</p>

Tabla 30: Mineral Laumontita.


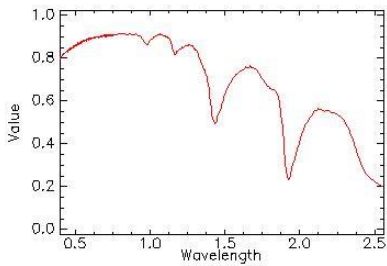
Laumontita	
Fórmula	$Ca(Si_4Al_2)O_{12} \cdot 4H_2O$
Categoría	Silicato
	 <p>Asociación: mordenita, prehnita y epidota</p>

Tabla 31: Mineral Magnetita.


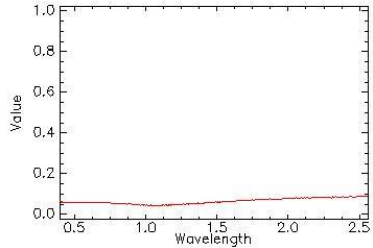
Magnetita	
Fórmula	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$
Categoría	Óxido
	 <p>Asociación: pirita, calcopirita, pentlandita, blenda y hematita</p>

Tabla 32: Mineral Mordenita.


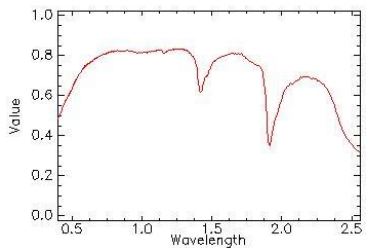
Mordenita	
Fórmula	$(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40})\text{O}_{96} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: zeolitas, calcita, caolinita o glauconita.</p>

Tabla 33: Mineral Muscovita.


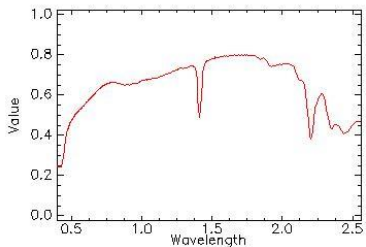
Muscovita	
Fórmula	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Categoría	Filosilicato
	 <p>Asociación: cuarzo, feldspatos, berilo y turmalina.</p>

Tabla 34: Mineral Natrolita.


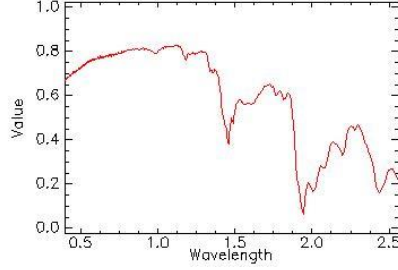
Natrolita	
Fórmula	$\text{Na}_2(\text{Si}_3\text{Al}_2)\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Categoría	Tectosilicato
	 <p>Asociación: escolecita y la mesolita</p>

Tabla 35: Mineral Ópalo.


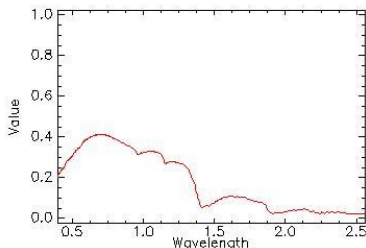
Ópalo	
Fórmula	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Categoría	Tectosilicato
	

Tabla 36: Mineral Pirita.


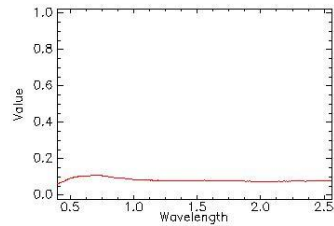
Pirita	
Fórmula	FeS_2
Categoría	Sulfuro
	 <p>Asociación: Galena, Esfalerita, Pirrotina, Arsenopirita, Marcasita, Oro</p>

Tabla 37: Mineral Pyrofilita.

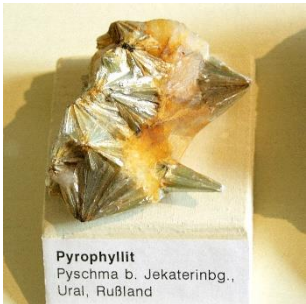
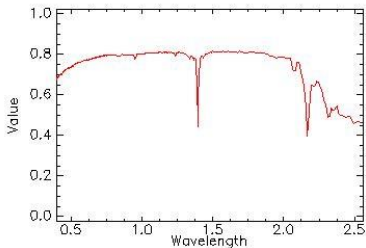
Pyrofilita	
Fórmula	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Categoría	Filosilicato
 <p>Pyrophyllit Pyschma b. Jekaterinbg., Ural, Rußland</p>	 <p>Asociación: albita, calcita y/o pirita</p>

Tabla 38: Mineral Siderita.


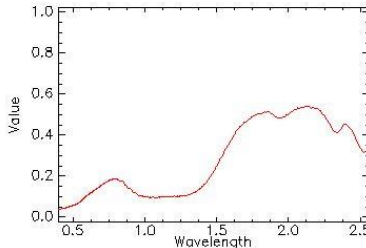
Siderita	
Fórmula	FeCO_3
Categoría	Carbonato
	 <p>Asociación: Calcita y Sulfuros</p>

Tabla 39: Mineral Tremolita.


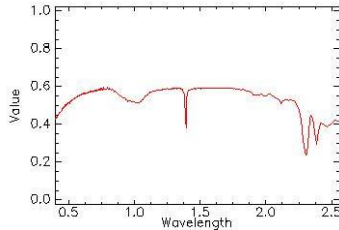
Tremolita	
Fórmula	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Categoría	Silicato
	 <p>Asociación: Calcita, grosularia, talco y serpentina</p>

Tabla 40: Mineral Tridimita.

Tridimita	
Fórmula	SiO_2
Categoría	Óxido
	<p>Frecuentemente aparece en cavidades en las rocas volcánicas en todo el mundo</p> <p>Asociación: coesita, cristobalita, cuarzo</p>

Tabla 41: Mineral Turmalina.


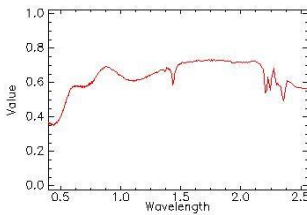
Turmalina	
Fórmula	$(\text{Na, Ca}) (\text{Al, Fe, Li}) (\text{Al, Mg, Mn})_6 (\text{BO}_3)_3 (\text{Si}_6\text{O}_{18}) \cdot (\text{OH, F})_4$
Categoría	Ciclosilicato
	 <p>Asociación: Anfíbol, Cuarzo, Muscovita, fluorita</p>

Tabla 42: Mineral Vesuvianita.


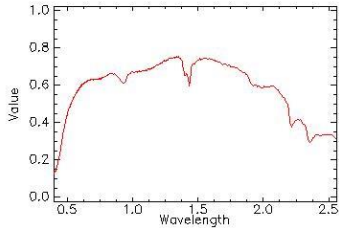

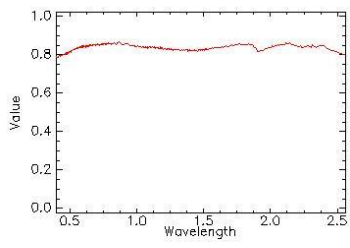
Vesuvianita	
Fórmula	$\text{Ca}_{10}(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH, F})_4$
Categoría	Sorosilicato
	 <p>Asociación: granate bruto, calcita, zoisita</p>

Tabla 43: Mineral Wallastonita.

Wallastonita	
Fórmula	$\text{CaSiO}_3 - \text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$
Categoría	Inosilicatos
	 <p>Asociación: granate, diópsido, carbonatos</p>

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1. Operacionalización de variables

Tabla 44: Marco operacional de variables e indicadores.

VARIABLES				
Tipo	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional Índice/ítem
Dependiente	Número digital de la imagen satelital	Valor entero que traduce numéricamente la intensidad radiométrica recibida por un sensor óptico-electrónico.	Energía electromagnética	Longitud de onda
Independiente	Firmas espectrales de los minerales	Medida cuantitativa de las propiedades espectrales en función de la radiación electromagnética de cualquier objeto	Gráfica espectral	% reflectancia.

Fuente: Elaboración de los investigadores

4.2. Diseño de investigación

La investigación será del tipo no experimental – transversal - correlacional.

4.3. Unidad de estudio

Con una unidad de análisis de 15 x 15 m pixel.

4.4. Población

El distrito de Namora ocupa una superficie de 180.69 km², abarcando el 6.06% de la provincia de Cajamarca.

4.5. Muestra

Firmas espectrales de minerales.

4.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas son la observación y el análisis espectral de las imágenes satelitales, el cual viene a ser la descomposición de dicha señal en sus diversas componentes dentro de un dominio frecuencial; a la vez es una técnica ampliamente utilizada para discriminar diferentes

tipos de materiales y generar procesamiento de datos usando instrumentos como el software ArcGIS 10.4 y Envi 5.3, para la localización de yacimientos minerales.

4.7. Procedimientos de análisis de datos

4.7.1. Adquisición de imágenes satelitales

Las imágenes fueron adquiridas del servidor (<https://www.usgs.gov/>) imágenes del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y LANDSAT 8. (LAND=Tierra Y SAT=Satélite).

4.7.2. Corrección de imágenes satelitales

Los datos que vienen almacenados en una imagen obtenida mediante un sensor los cuales están representados en números digitales (ND), dichos niveles digitales no representan de manera directa ninguna variable biofísica y, por tanto, no es conveniente que se obtenga ningún índice espectral usando dichos valores en crudo, la razón para no hacerlo es muy simple ya que los índices espectrales fueron desarrollados para trabajar con valores de reflectancia espectral de la superficie terrestre.

Los niveles digitales no proporcionan dicha información, por lo que es necesario convertir los números digitales (ND) en valores de reflectancia, este proceso se realiza en dos procesos el primero llamado corrección radiométrica que consiste en transformar los ND en radiancia y la segunda denominada corrección atmosférica que consiste en transformar los ND en reflectancia.

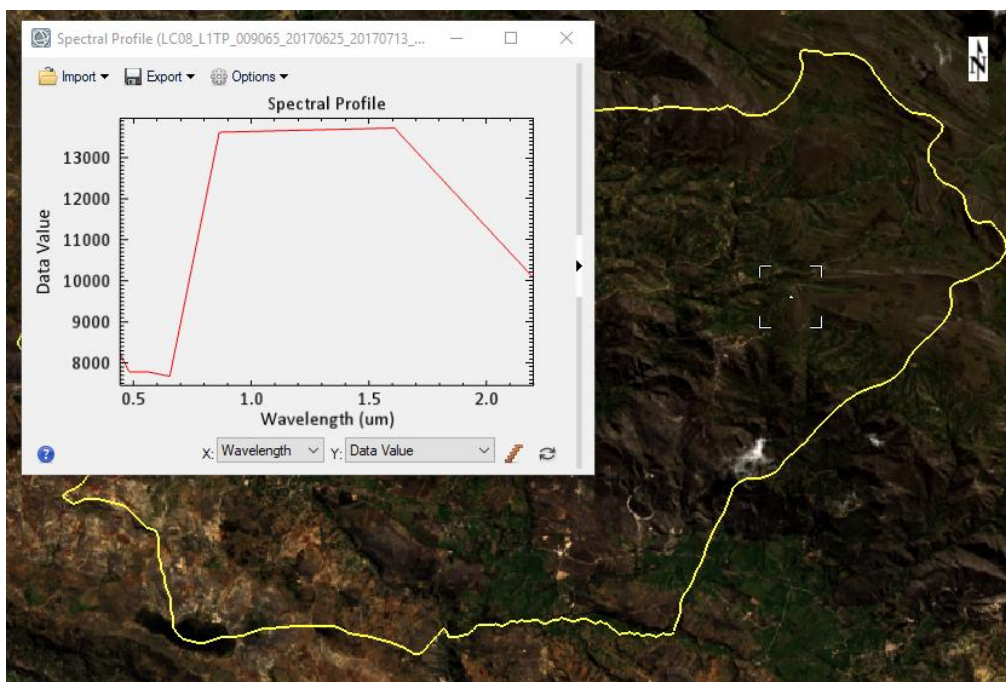


Figura 11: Imagen sin correcciones

4.7.2.1. Corrección Radiométrica

El modelo de corrección radiométrica tiene en cuenta, entre otros factores, el relieve (ángulos de incidencia y sombras proyectadas), la posición solar, la distancia Tierra-Sol en el momento de captación de la imagen, el amortiguamiento atmosférico en los caminos de ida y de retorno de la radiación y parámetros, para cada canal, de densidad óptica atmosférica, irradiancia exoatmosférica solar y calibración del sensor.

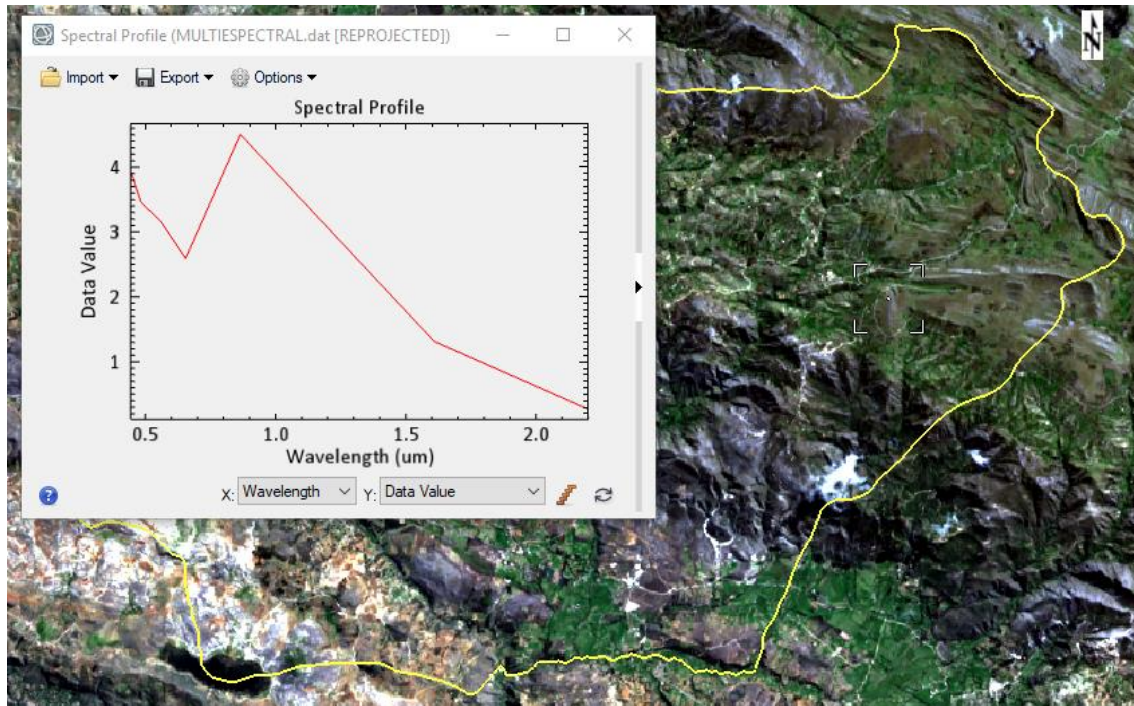


Figura 12: Corrección radiométrica

4.7.2.2. Corrección atmosférica

La corrección atmosférica busca recuperar la radiancia propia del objeto de estudio, obtenida de la señal recibida por el sensor. Para ello se requiere: 1) convertir los números digitales (ND) de cada banda a valores de radiancia, y 2) la radiancia se transforma a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera, esto se obtiene mediante FLAASH la conversión a valores de reflectancia (Kruse, 2004).

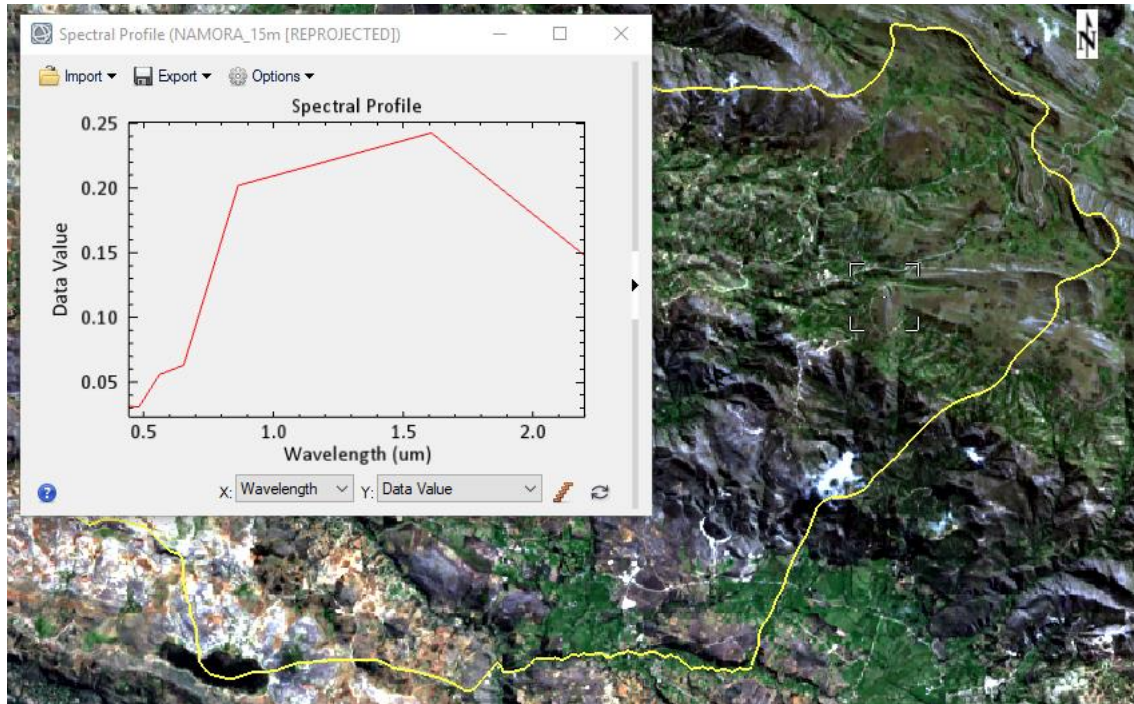


Figura 13: Corrección atmosférica.

4.7.3. Remuestreo de las imágenes

Consiste en realizar un filtro a la imagen LANDSAT OLI – TRIS de la banda pancromática de 15 m de resolución, para resaltar la información tal es el caso de mejorar los lineamientos, de la vegetación, agua, entre otros; de esta manera reducir el margen de error y obtener unos mejores resultados. Luego esta banda se fusiona con las demás bandas. La fusión es una simple combinación lineal de cada una de las bandas de esta manera queda remuestreada la imagen con sus respectivas bandas a 15x15 pixel, luego se realiza una composición de colores con las bandas fusionadas; teniendo como resultado una imagen de resolución de 15m, que proporciona una información visual y espectral con más detalles que permite información con mayor precisión.

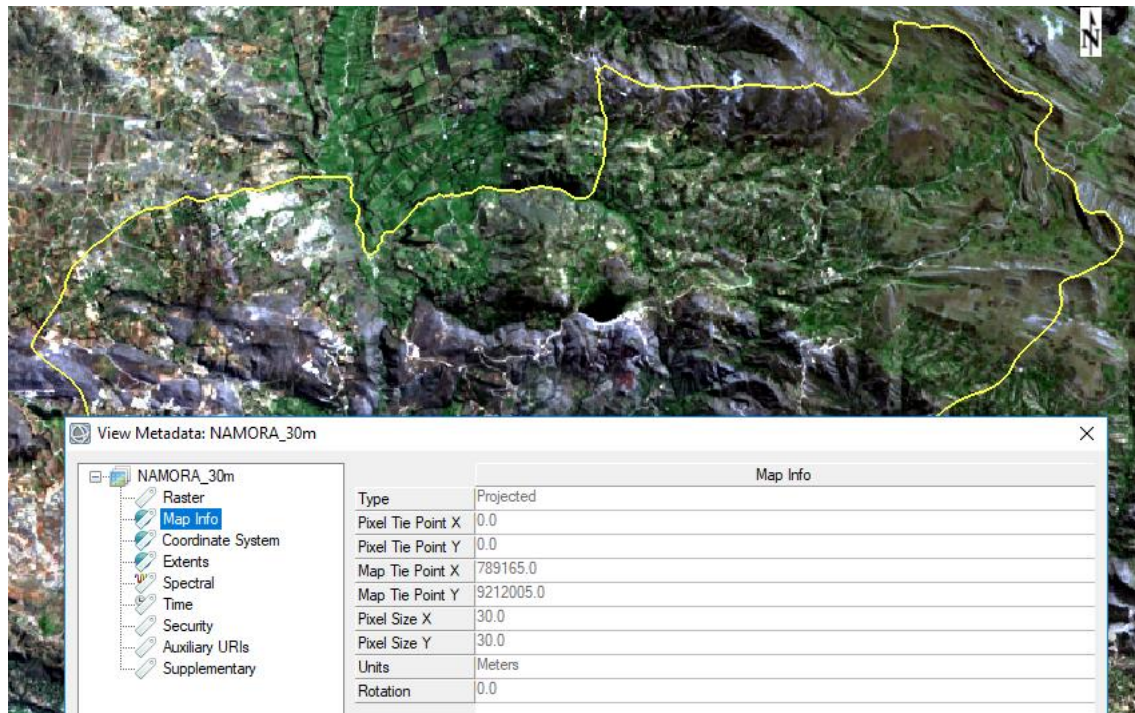


Figura 14: Imagen con pixel 30x30

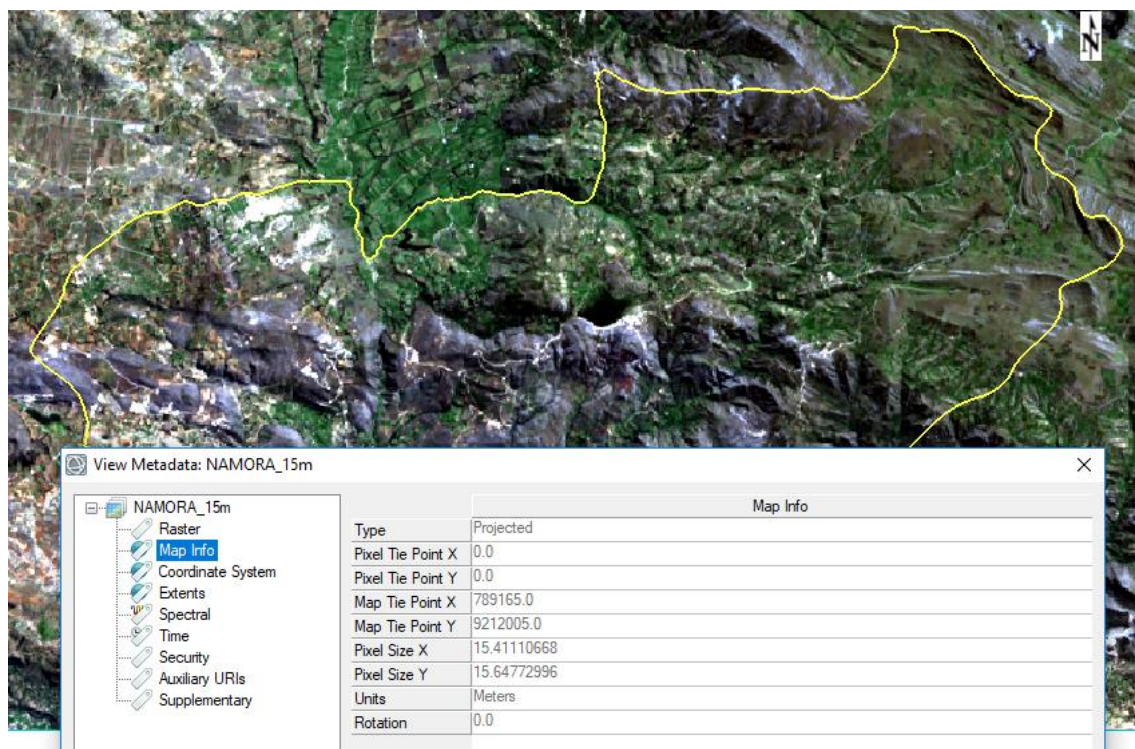


Figura 15: Imagen remuestreada a pixel 15x15

4.7.4. Máscaras

4.7.4.1. Máscara de nubes.

En este ámbito se utilizó una propuesta dada por el grupo de la UAB (Universidad Autónoma de Barcelona), el cual se basa en la diferencia entre una imagen de referencia (libre de nubes) y la imagen a evaluar, excluyendo los falsos positivos, fijando un umbral en la banda térmica. Debido a que el algoritmo también detecta parte de las zonas cubiertas por nieve se superpone la máscara de nieve obtenida con otro algoritmo.

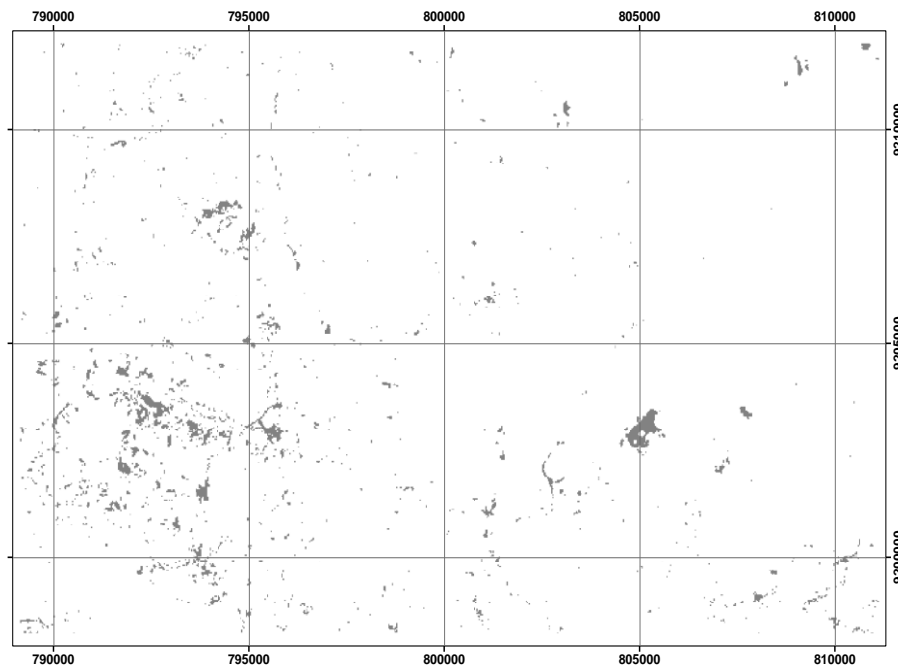


Figura 16: Máscara de nubes.

4.7.4.2. Máscara de vegetación.

Para crear la máscara de vegetación se usa el Índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) y se elige el umbral correspondiente. Generalmente la vegetación densa y/o robusta Sin embargo dado que cada imagen es diferente, se debe elegir el umbral de manera interactiva superponiendo los valores de NDVI.

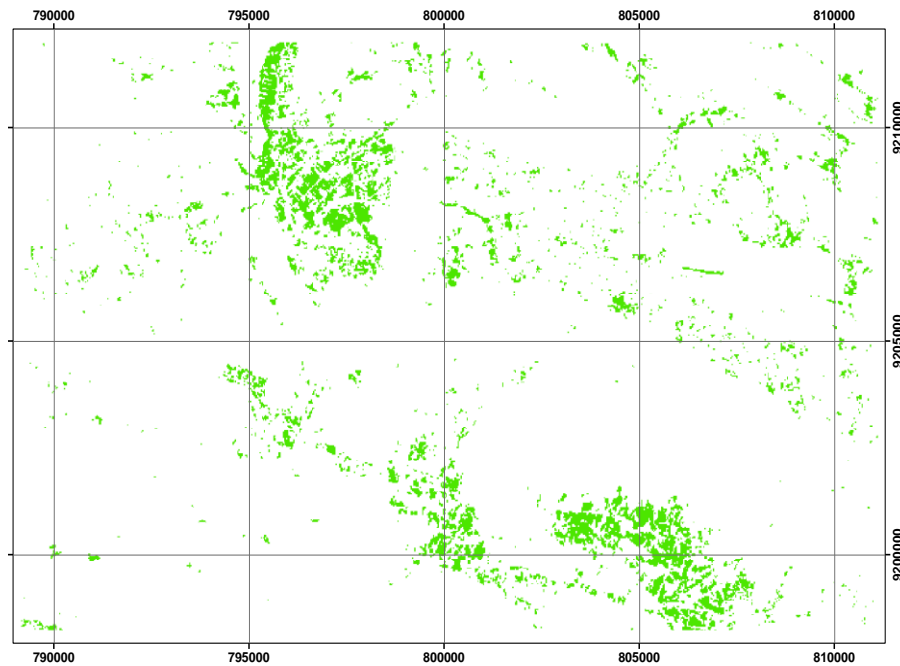


Figura 17: Máscara de vegetación.

4.7.4.3. Máscara de agua.

Para la detección de zonas de agua se propuso poner un umbral en la banda 6 de 0.15 (Bustamante et al., 2005) y también en la banda 5, pero solo para las zonas con posibilidad que haya agua. Así se evita también, en la mayoría de los casos, la confusión con zonas de sombras que también presentan valores muy bajos en ambas bandas.

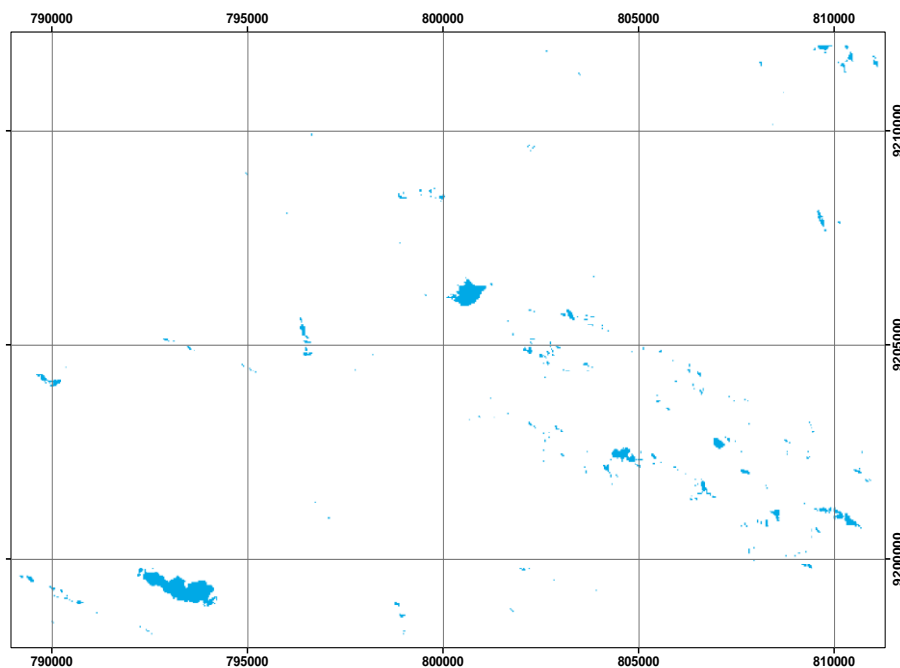


Figura 18: Máscara de agua.

4.7.4.4. Imágenes con enmascaramiento

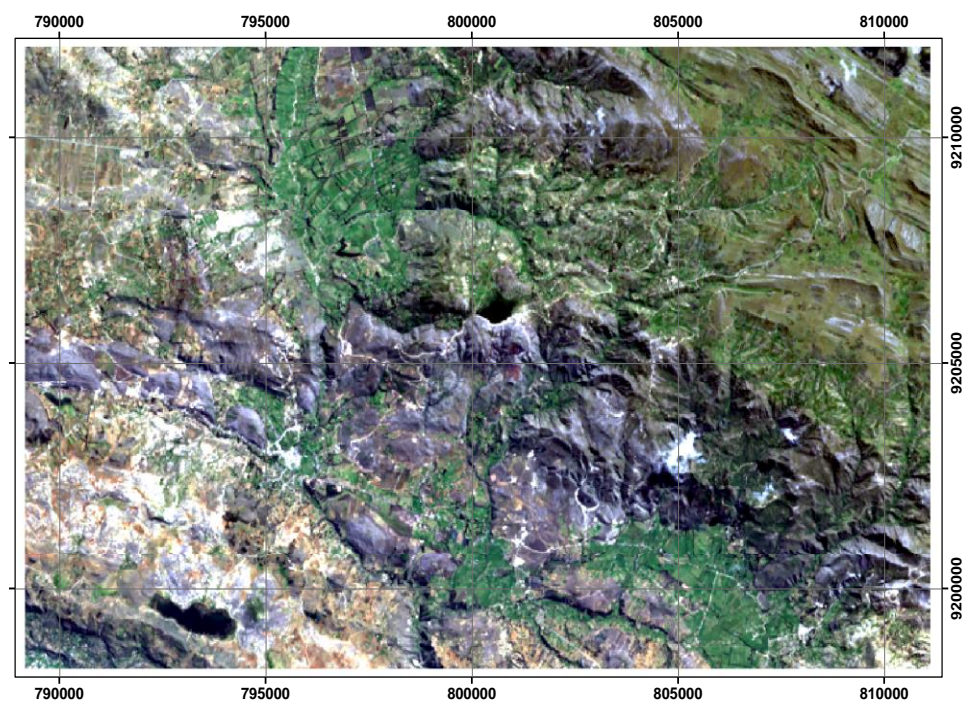


Figura 19: Imagen Landsat OLI-TIR sin aplicar las máscaras.

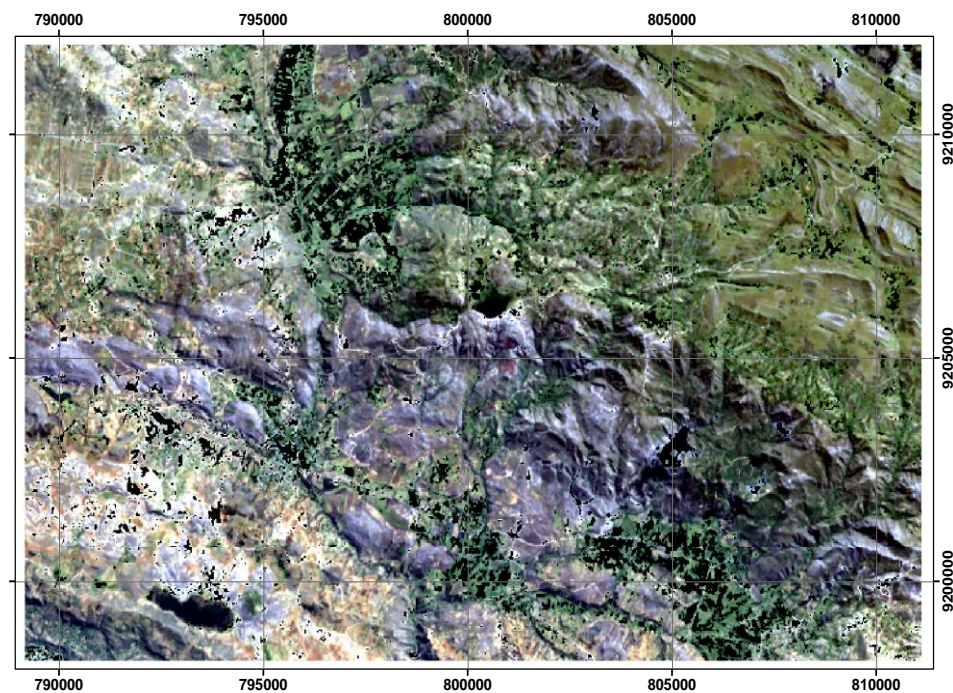


Figura 20: Imagen Landsat OLI-TIRS aplicando las máscaras.

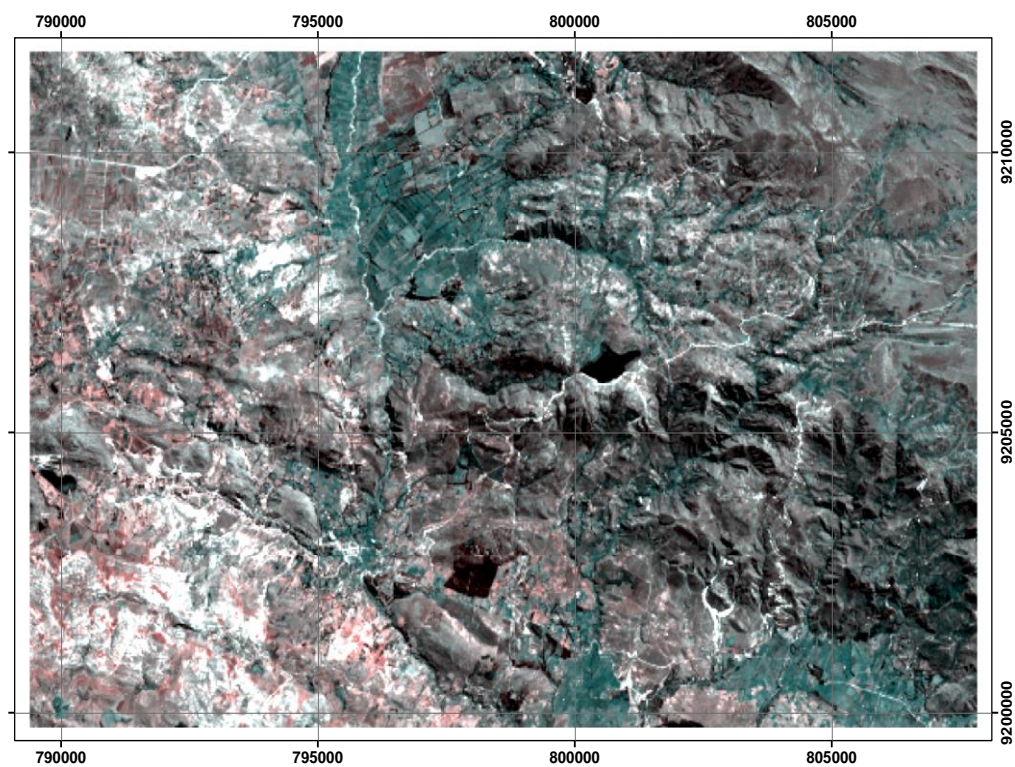


Figura 21: Imagen ASTER sin aplicar las máscaras.

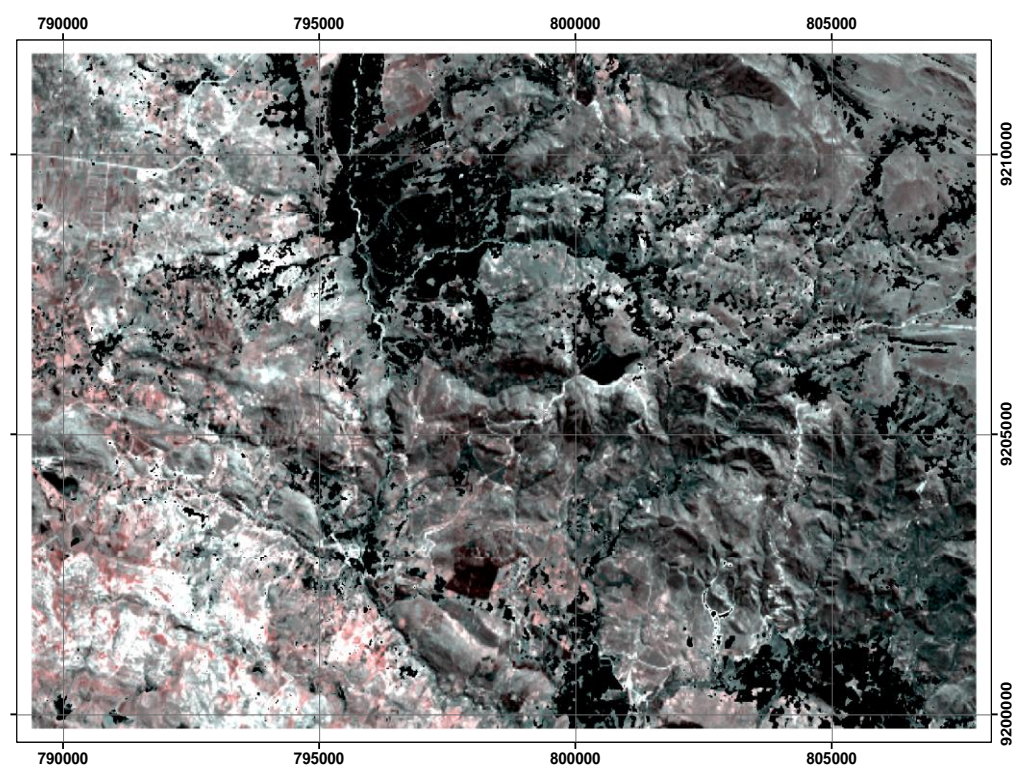


Figura 22: Imagen ASTER aplicando las máscaras.

4.7.5. Análisis y Clasificación Espectral de Minerales.

4.7.5.1. Análisis electromagnético.

Construcción De Galería Espectral

Para realizar una nueva galería espectral se colecta y clasifica la mineralogía de escala regional característica de yacimientos metálicos. (Tabla N° 45). Determinando de esta manera los minerales de alteración característicos en yacimientos metálicos de interés prospectivo

Una vez seleccionados los minerales característicos se procede a elaborar una galería multispectral filtrando cada una de las firmas minerales seleccionados de la colección de espectros minerales proporcionado por la USGS.

Se tendrá como base de análisis que todos los elementos sobre la tierra tienen la tendencia de reflexión y absorción de energía electromagnética, para lo cual mediante el uso de las galerías de firmas multispectral. Se podrá realizar búsquedas de componentes y elementos para identificar cómo responden sus emisiones a lo largo del espectro electromagnético y de esta manera identificar los minerales de alteración.

Tabla 45: Ensamblajes minerales característicos de Yacimientos metálicos

Mineral	Mineral en software	Fórmula	Clase	USGS Firma
Actinolita	Actinolite	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Silicato	Si
Adularita	Adularia	$(\text{Si}_6\text{O}_{18})\text{Al}_2\text{Be}_3$	Silicato	Si
Albita	Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Silicato	Si
Alunita	Alunite	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	Sulfatos	Si
Andalusita	Andalusite	Al_2SiO_5	Silicato	Si
Ankerita	Ankerite	$\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$	Carbonato	No
Biotita	Biotite	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	Silicato	Si
Calcita	Calcite	CaCO_3	Carbonato	Si
Caolinita	Caolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Silicato	Si
Chabasita	Chabazite	$\text{Ca}(\text{Si}_4\text{Al}_2)\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Clorita	Chlorite	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$	Silicato	Si
Corindón	Corundum	Al_2O_3	Oxido	Si
Cristobalita	Cristobalite	SiO_2	Oxido	No
Cuarzo	Quartz	SiO_2	Silicato	Si

Mineral	Mineral en software	Fórmula	Clase	USGS Firma
Diasporo	Diaspore	$\text{AlO}(\text{OH})$	Oxido	Si
Dickita	Dickite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Silicato	Si
Dolomita	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Carbonato	Si
Epidota	Epidote	$\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	Silicato	Si
Esmeclita	Esmeclite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Estilbita	Stilbite	$\text{NaCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Halloysita	Halloysite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Silicato	Si
Granate	Garnet	$(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_3(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr}, \text{Ti}, \text{V})_2(\text{SiO}_4)_3$	Silicato	No
Hematita	Hematite	Fe_2O_3	Oxido	Si
Heulandita	Heulandite	$\text{KCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Illita	Illite	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$	Silicato	Si
Laumontita	Laumontite	$\text{Ca}(\text{Si}_4\text{Al}_2)\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Magnetita	Magnetite	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	Oxido	Si
Mordenita	Mordenite	$(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40})\text{O}_{96} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Muscovita	Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Silicato	Si
Natrolita	Natrolite	$\text{Na}_2(\text{Si}_3\text{Al}_2)\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Opalo	Opaline	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Silicato	Si
Pirita	Pyrite	FeS_2	Sulfuro	Si
Pyrofilita	Pyrophyllite	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Silicato	Si
Sericita	Sericite	$\text{AC}_{2-3}\text{T}_4\text{O}_{10}\text{X}_2$	Silicato	No
Siderita	Siderite	FeCO_3	Carbonato	Si
Tremolita	Tremolite	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Silicato	Si
Tridimita	Tridimite	SiO_2	Oxido	No
Turmalina	Tourmaline	$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Li})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH}, \text{F})_4$	Silicato	Si
Vesuvianita	Vesuvianite	$\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH}, \text{F})_4$	Silicato	Si
Wairakita	Wairakite	$\text{Ca}(\text{Si}_4\text{Al}_2)\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato	No
Wallastonita	Wollastonite	$\text{CaSiO}_3 - \text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$	Silicato	Si

Los espectros minerales de la USGS son firmas recolectadas por espectrómetros de mayor amplitud es por ello que sus graficas son de alto detalle. Para la identificación de los minerales de alteración se utilizará el Perímetro exterior, envolvente, continuum o Hull que es la denominación utilizada para la forma general de la gráfica permitiendo de esta manera la comparación con firmas obtenidas de imágenes ASTER y Landsat.

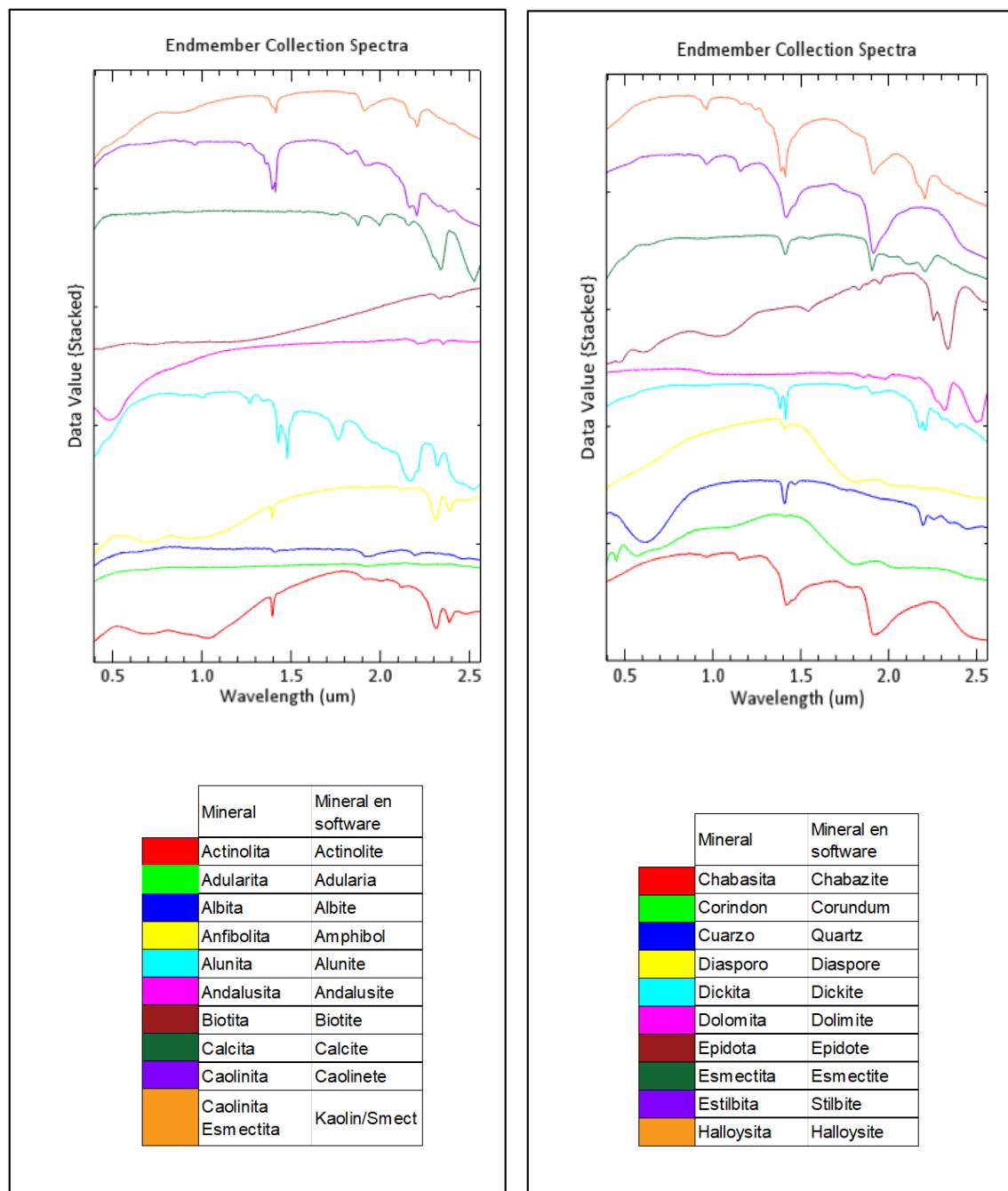


Figura 23: Firmas espectrales características de los minerales de alteración USGS

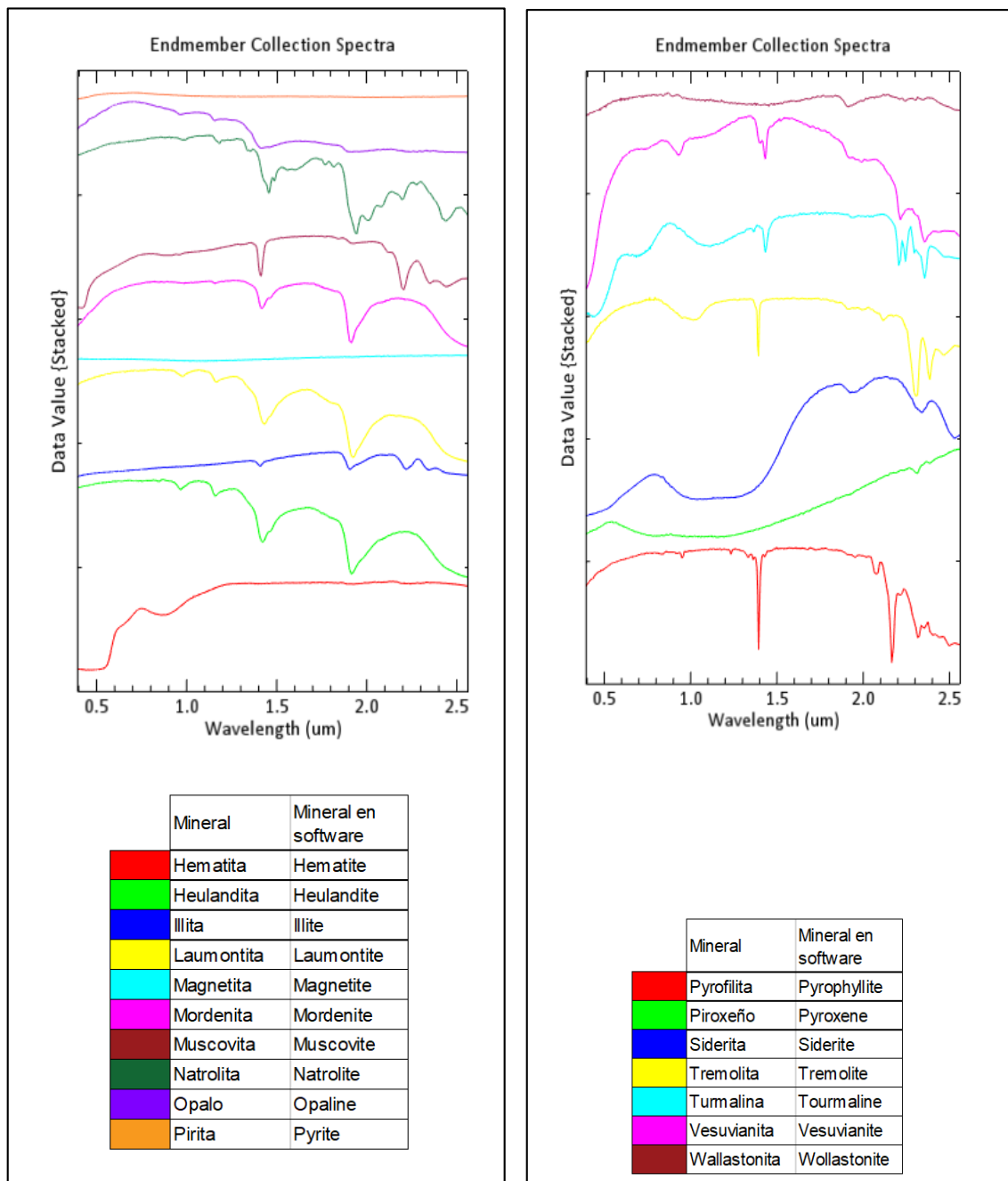


Figura 24: Firmas espectrales características de los minerales de alteración USGS.

Una vez realizada la construcción de la galería multispectral se tendrá lista la base de datos para la identificación de las firmas espectrales de pixeles puros obtenidos de las imágenes satelitales.

Para lo cual se utilizará el método SFF esta técnica proviene de nombre en inglés SPECTRAL FEATURE FILTERING (SFF).

Este método de análisis espectral, tiene el principio de la comparación de un material conocido y el desconocido de la imagen. Y es un método característico basado en la absorción para emparejar espectros de la imagen a los espectros de referencia, este método requiere que los datos hayan sido corregidos por radiancia, de tal manera que quedaran una serie de características espectrales por absorción.

4.7.5.2. Clasificación firmas espectrales provenientes de la imagen ASTER

Para la identificación de las firmas espectrales de minerales característicos de yacimientos metálicos en la imagen satelital Aster se tiene en cuenta el método de la envolvente que busca generar la simplificación de la gráfica haciendo uso de los picos de absorción y reflectancia contenidos en las grafica inicial, para tener la posibilidad de comparar con las firmas espectrales de los minerales encontrados en la zona de estudio.

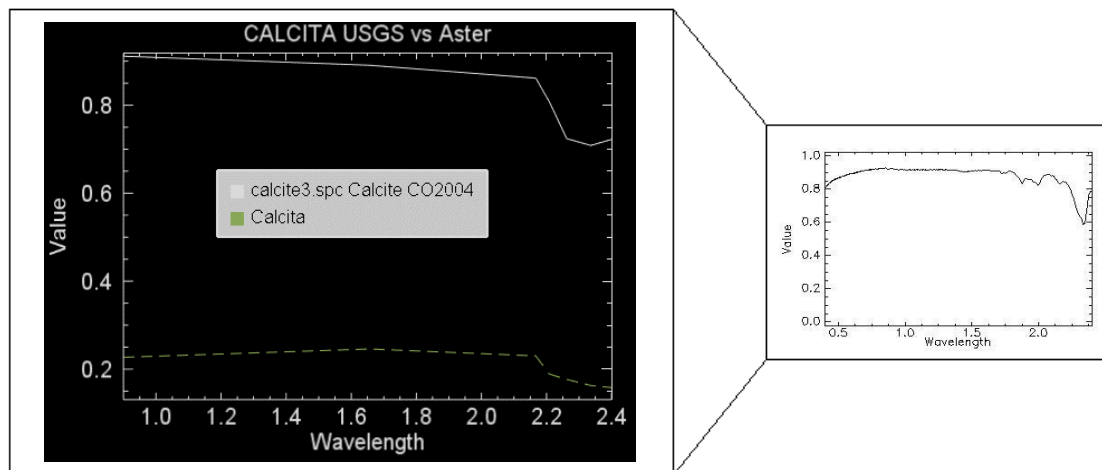


Figura 25: Identificación de la firma espectral de Calcita.

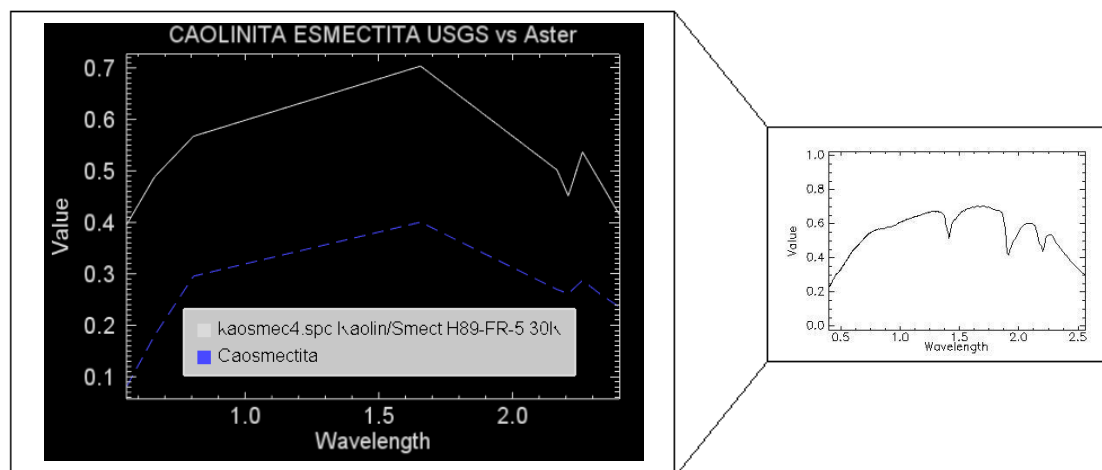


Figura 26: Identificación de la firma espectral de Caosmectita.

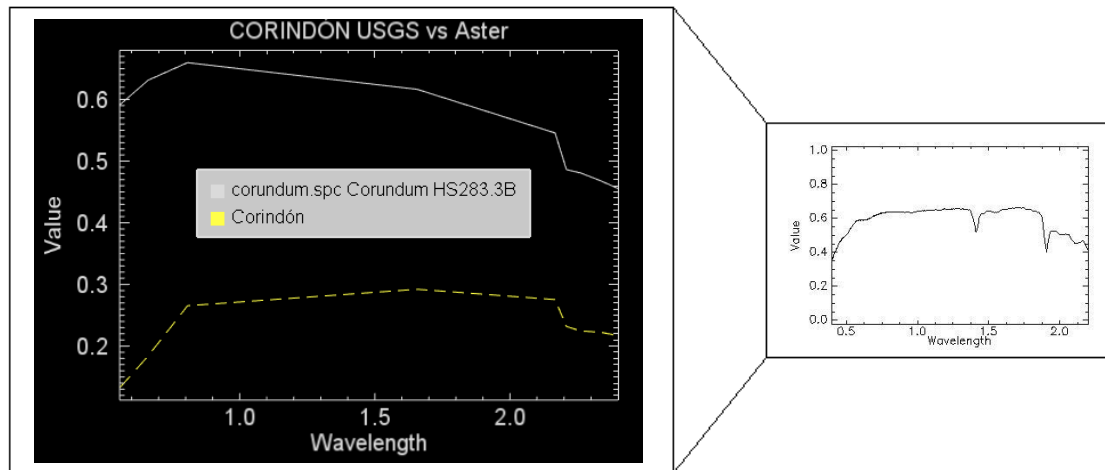


Figura 27: Identificación de la firma espectral de corindón.

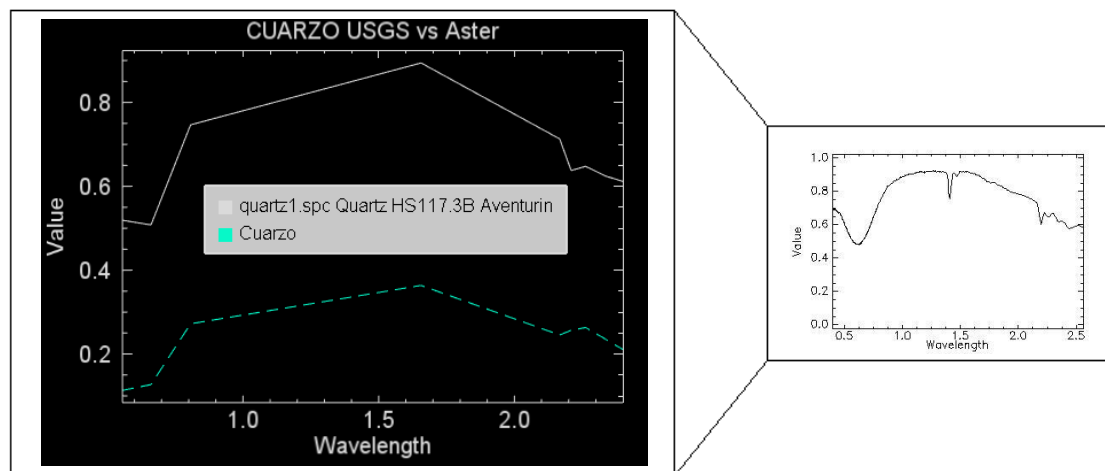


Figura 28: Identificación de la firma espectral de cuarzo.

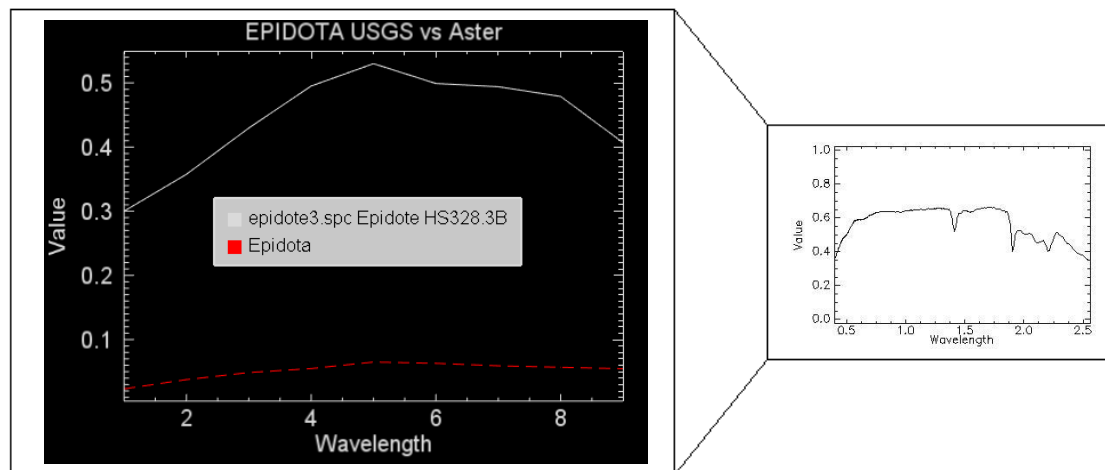


Figura 29: Identificación de la firma espectral de Epidota

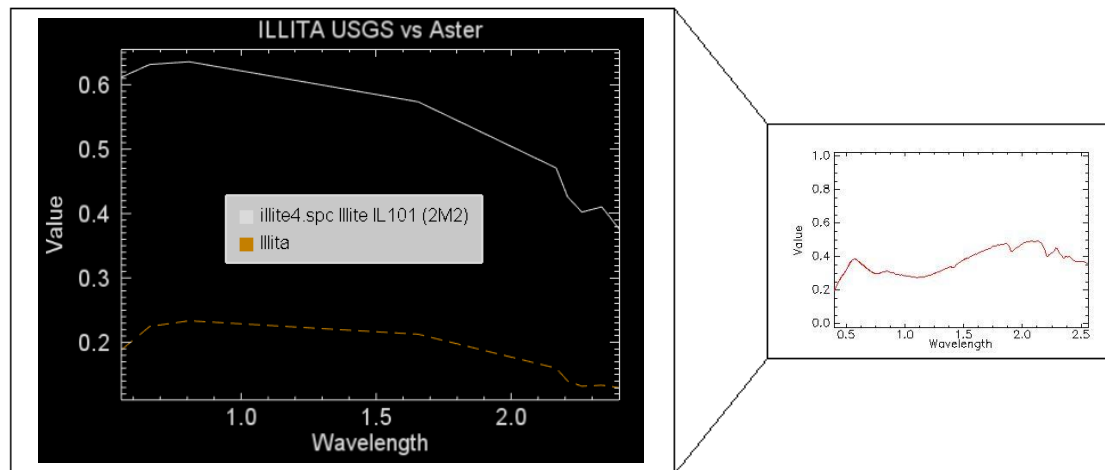


Figura 30: Identificación de la firma espectral de Illita.

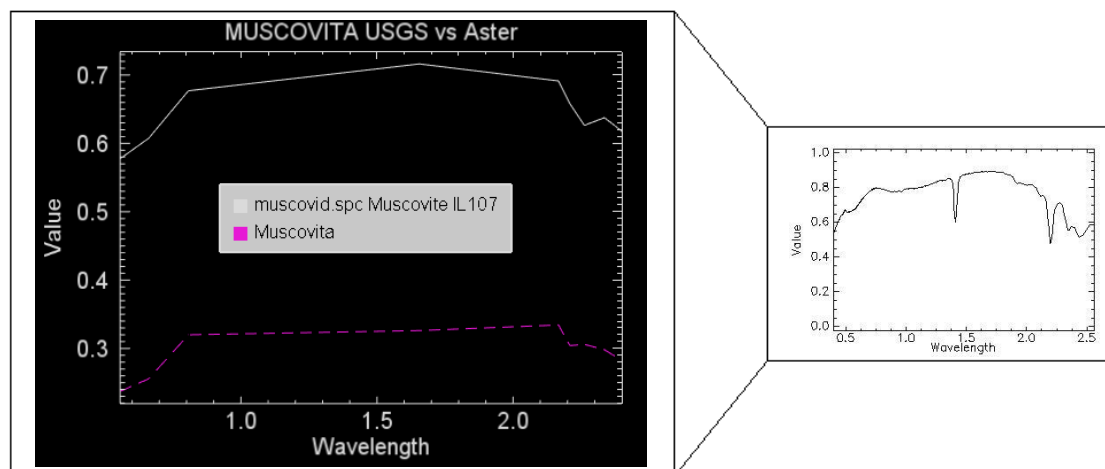


Figura 31: Identificación de la firma espectral de Muscovita.

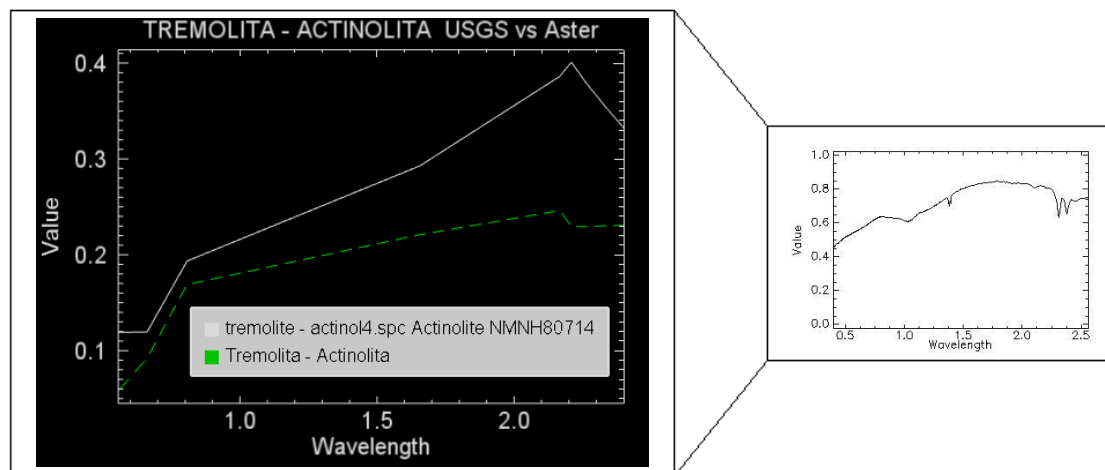


Figura 32: Identificación de la firma espectral de Tremolita - Actinolita.

Identificación de Turmalina

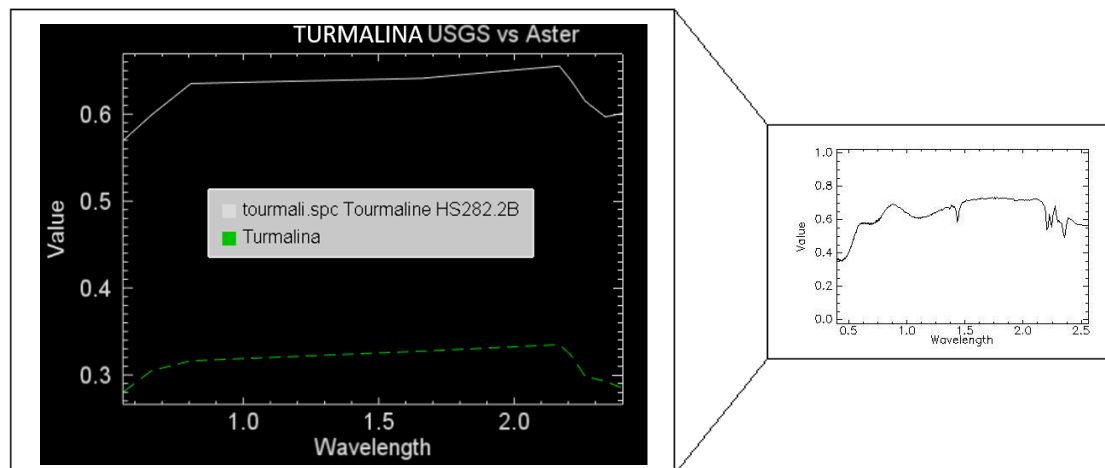


Figura 33: Identificación de la firma espectral de Turmalina.

4.7.5.3. Clasificación de firmas espectrales provenientes de la imagen Landsat

Para la identificación de las firmas espectrales de minerales característicos de yacimientos metálicos en la imagen Landsat OLI – TIRS también se tendrá en cuenta el método de la envolvente que busca generar la simplificación de la graficas haciendo uso de los picos de absorción y reflectancia contenidos en las grafica inicial, pero en caso de las imágenes satelitales Landsat OLI – TIRS se debe tener un especial cuidado pues la complejidad de la gráfica depende de la resolución espectral que tenga la imagen, y en este caso la resolución espectral es menor que en la imagen Aster es por ello que la gráfica tendrá menor detalle.

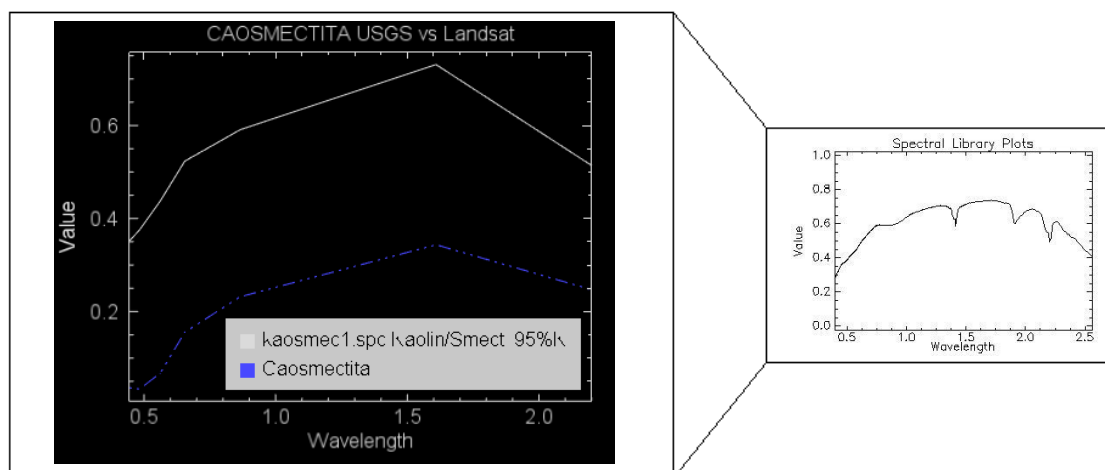


Figura 34: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 1.

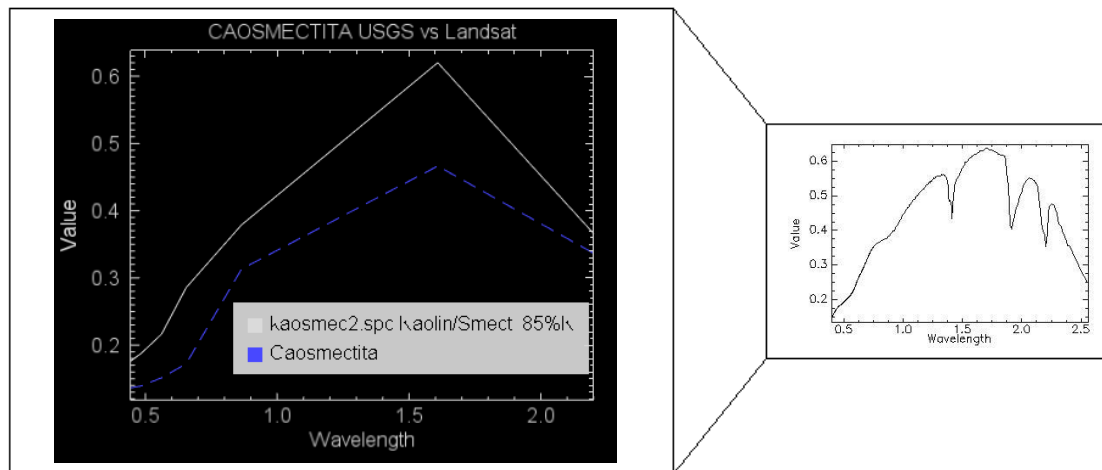


Figura 35: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 2.

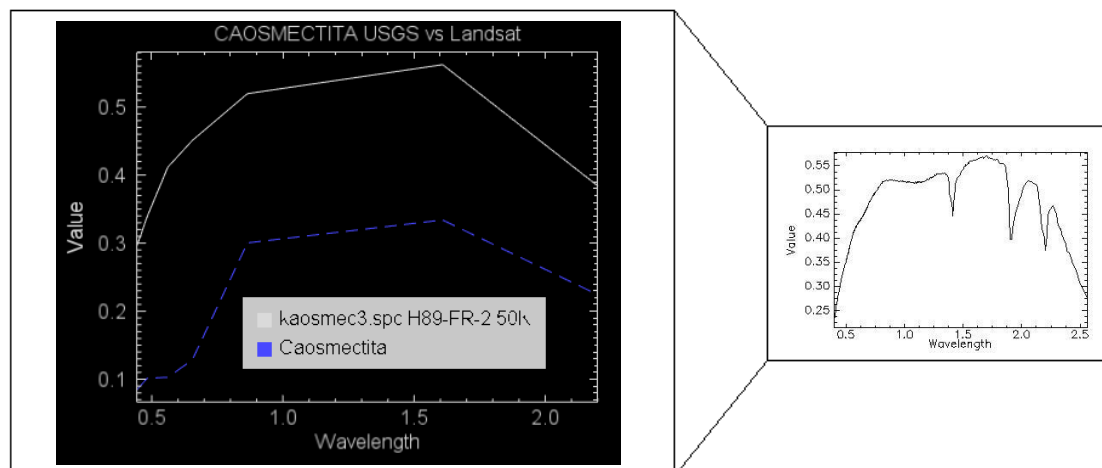


Figura 36: Identificación de la firma espectral de Caosmectita Tipo 3.

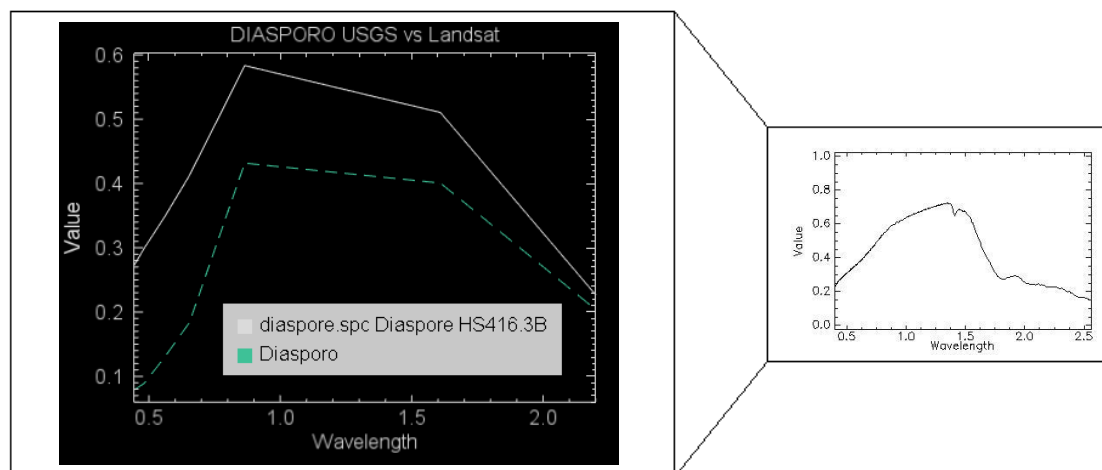


Figura 37: Identificación de la firma espectral de Diásporo.

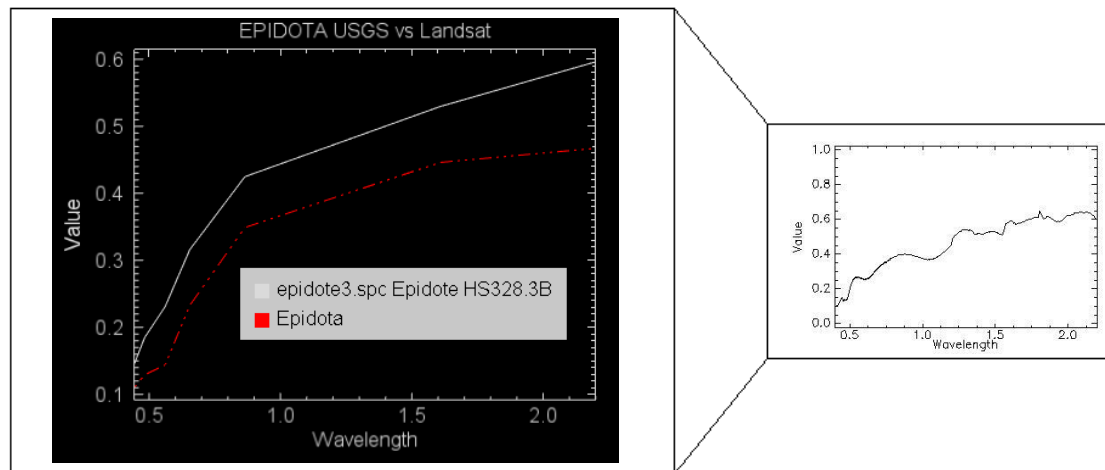


Figura 38: Identificación de la firma espectral de Epidota.

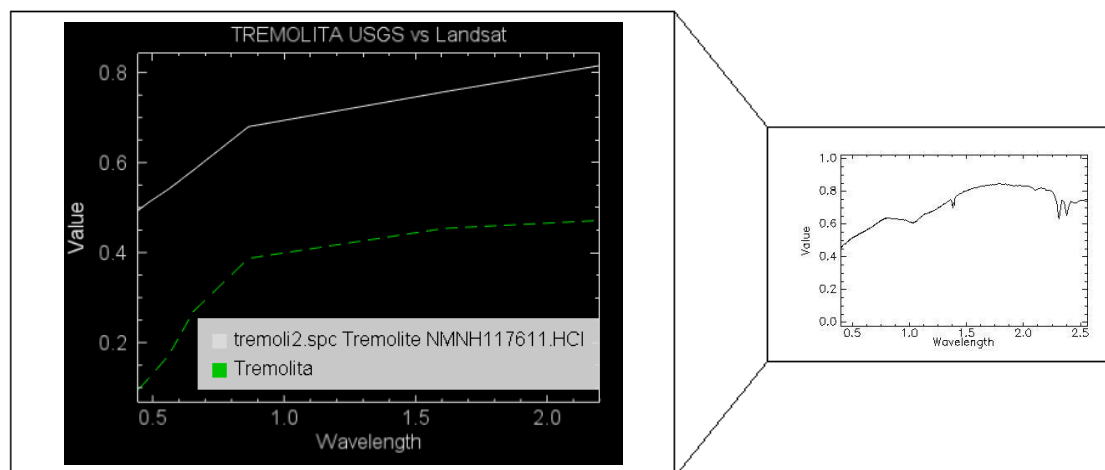


Figura 39: Identificación de la firma espectral de Tremolita.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

El análisis mineral parte de la comparación con las firmas de la librería espectral del USGS, en el cual se comparan los rangos espectrales de cada mineral a determinar, las firmas espectrales obtenidas son producto de una selección de información denominada pixel puro.

A continuación, se da la ubicación detallada para cada mineral proveniente del análisis de las dos imágenes satelitales Aster y Landsat OLI –TIRS

5.1. Ubicación de minerales analizados en la imagen Aster

5.1.1. Ubicación Espacial De Calcita

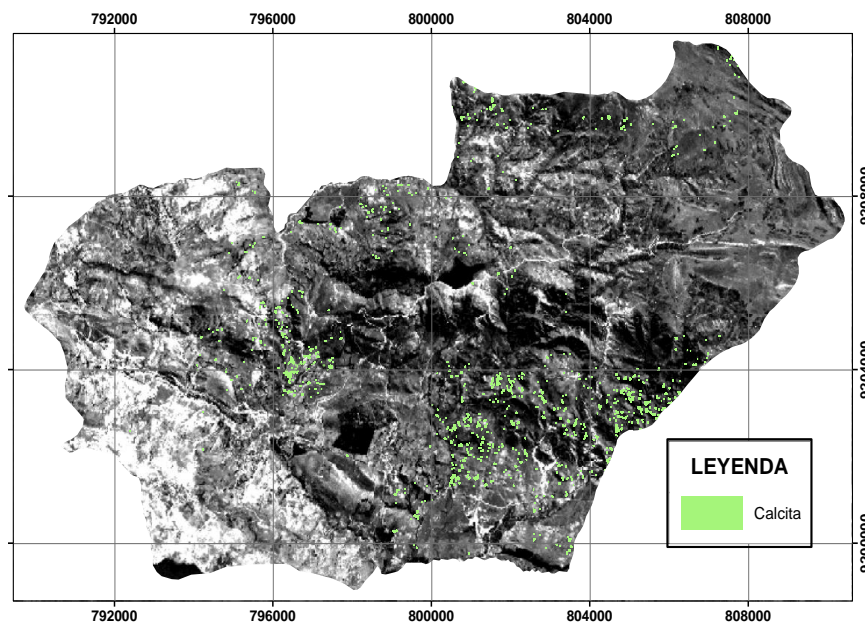


Figura 40: Mapa de ubicación de calcita

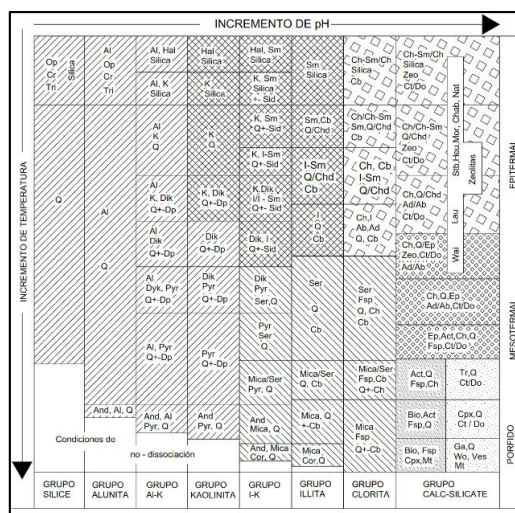


Figura 41: Presencia de calcita en alteraciones minerales

La calcita como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Fílica
- Subpropilitica

5.1.2. Ubicación espacial de Caosmectita

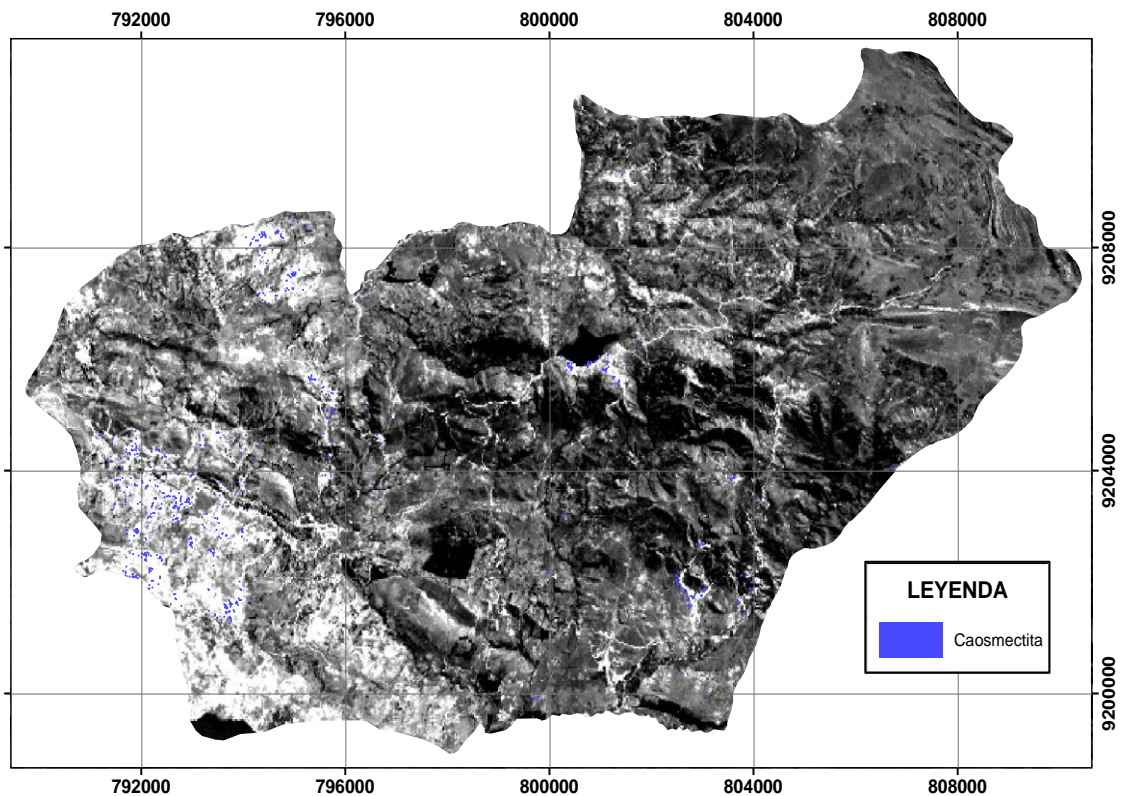


Figura 42: Mapa de ubicación de caosmectita

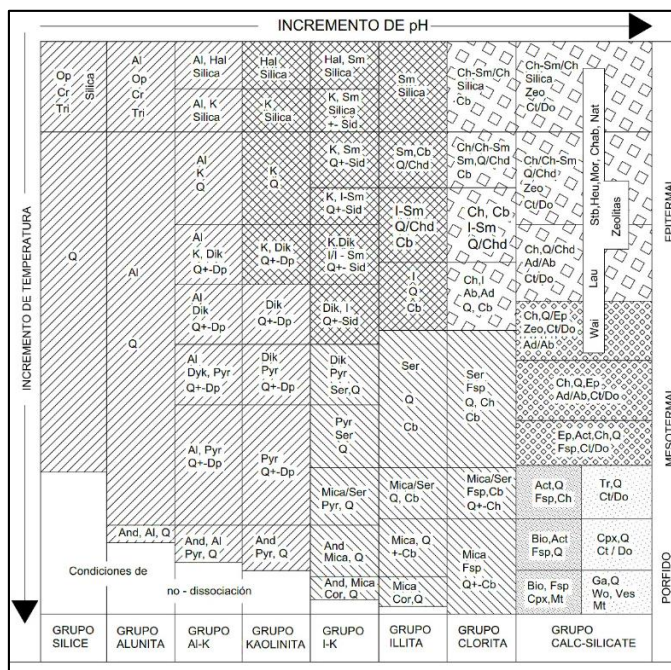


Figura 43: Presencia de caosmectita en alteraciones minerales

La caosmectita como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Argílica avanzada

5.1.3. Ubicación espacial de Corindón

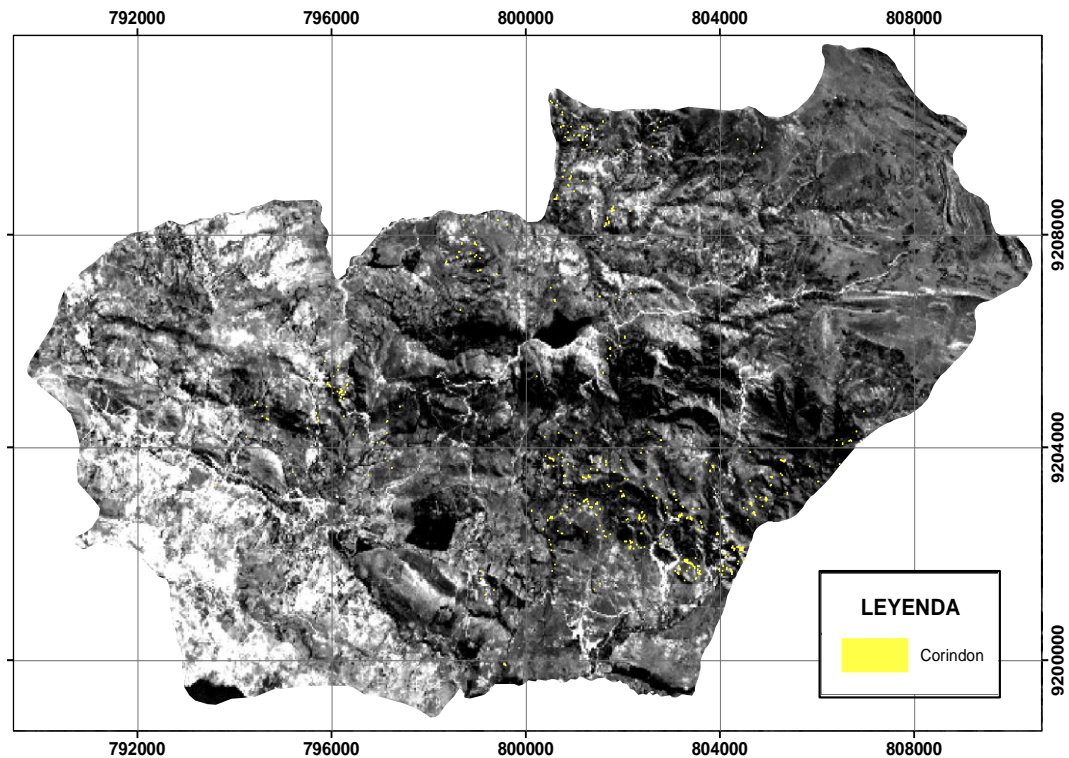


Figura 44: Mapa de ubicación de corindón

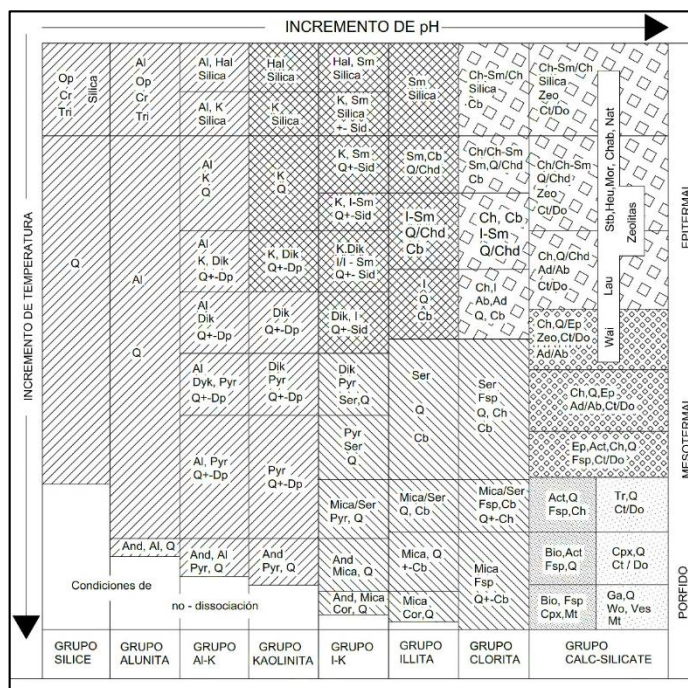


Figura 45: Presencia de corindón en alteraciones minerales

El corindón como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Argílica Avanzada

5.1.4. Ubicación espacial de Cuarzo

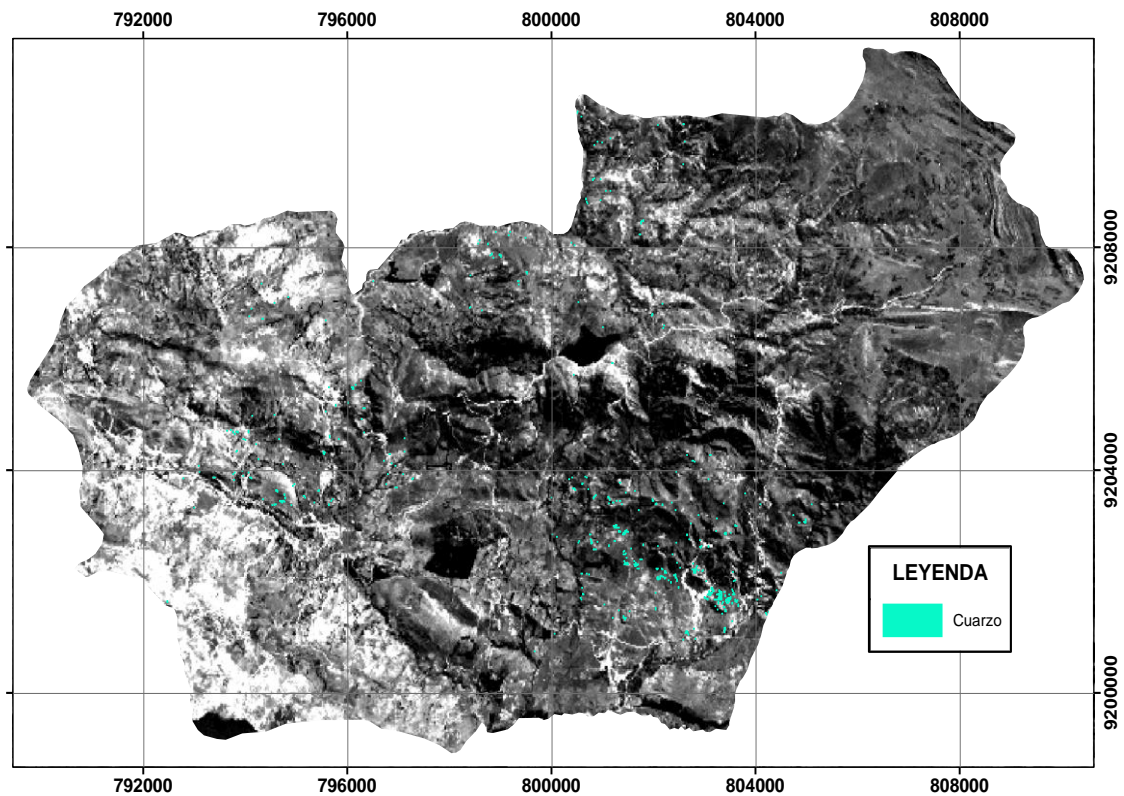


Figura 46: Mapa de ubicación de cuarzo

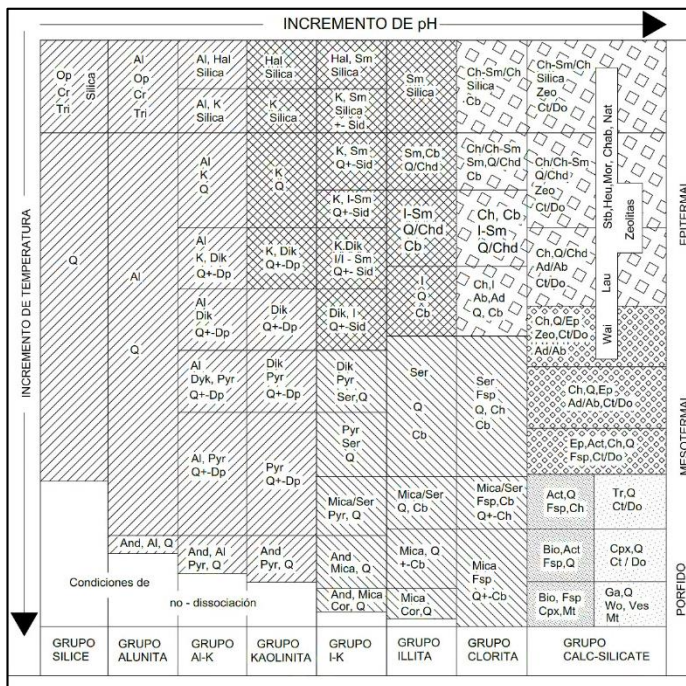


Figura 47: Presencia de cuarzo en alteraciones minerales

El cuarzo como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Argílica Avanzada
- Filical
- Propilitica
- Potásica
- Skarn

5.1.5. Ubicación espacial de Epidota

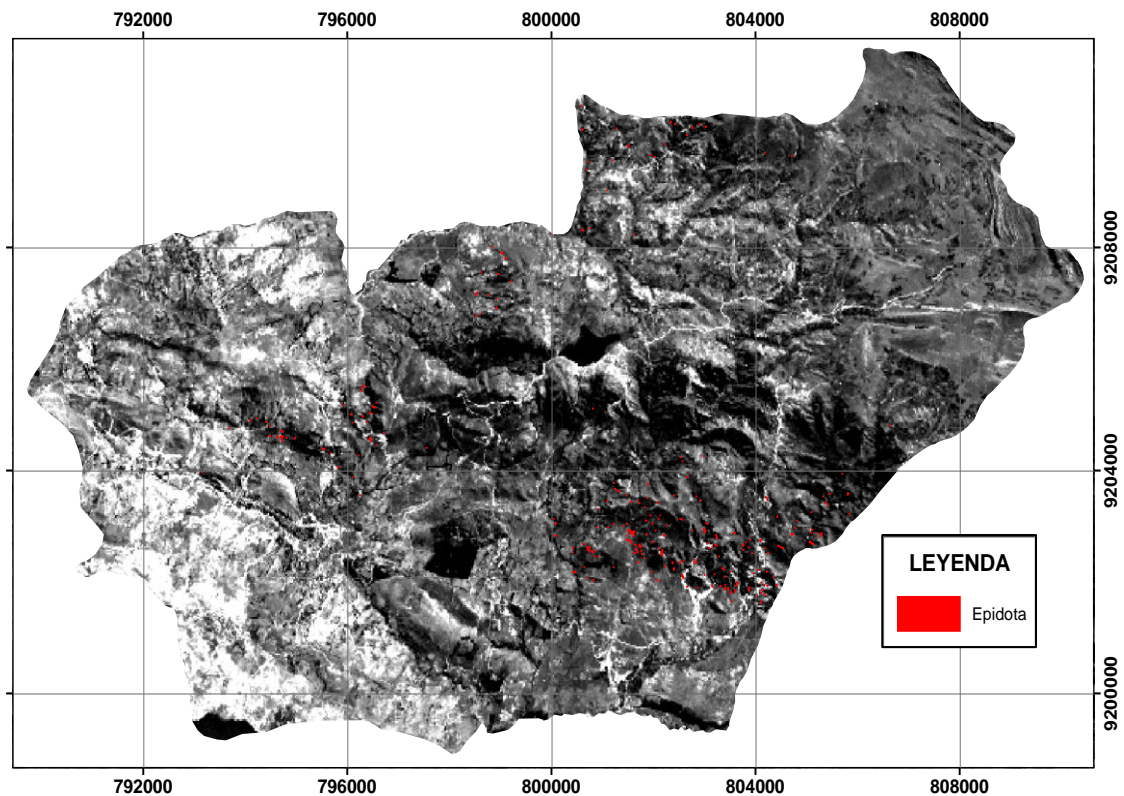


Figura 48: Mapa de ubicación de epidota

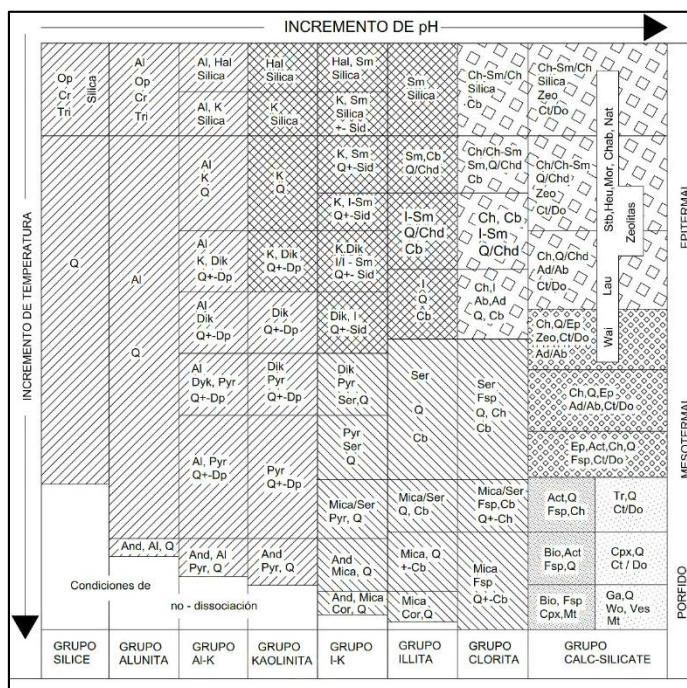


Figura 49: Presencia de epidota en alteraciones minerales

La epidota como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de la alteración

- Propilitica

5.1.6. Ubicación espacial de Illita

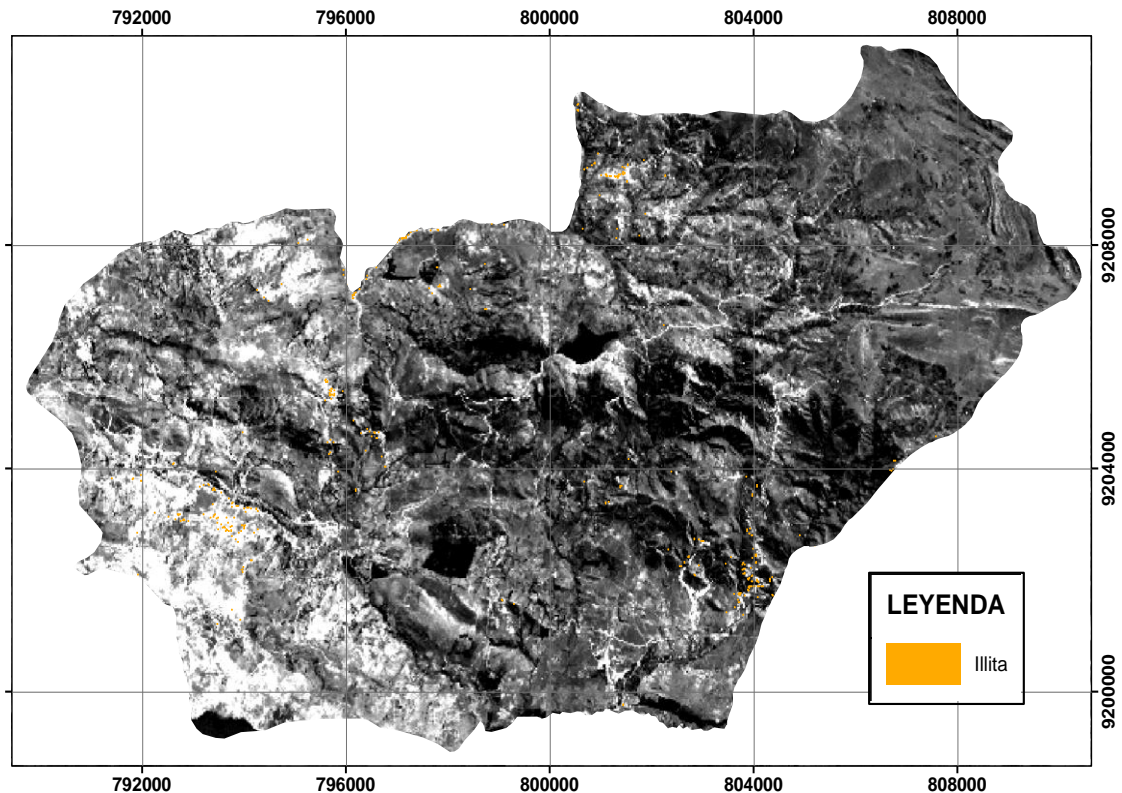


Figura 50: Mapa de ubicación de illita

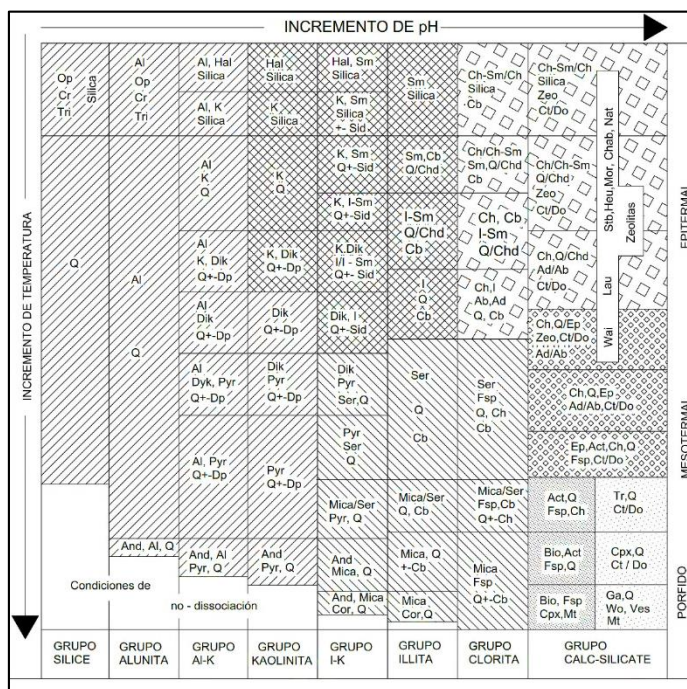


Figura 51: Presencia de illita en alteraciones minerales

La illita como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Sub propilitica

5.1.7. Ubicación espacial de Muscovita

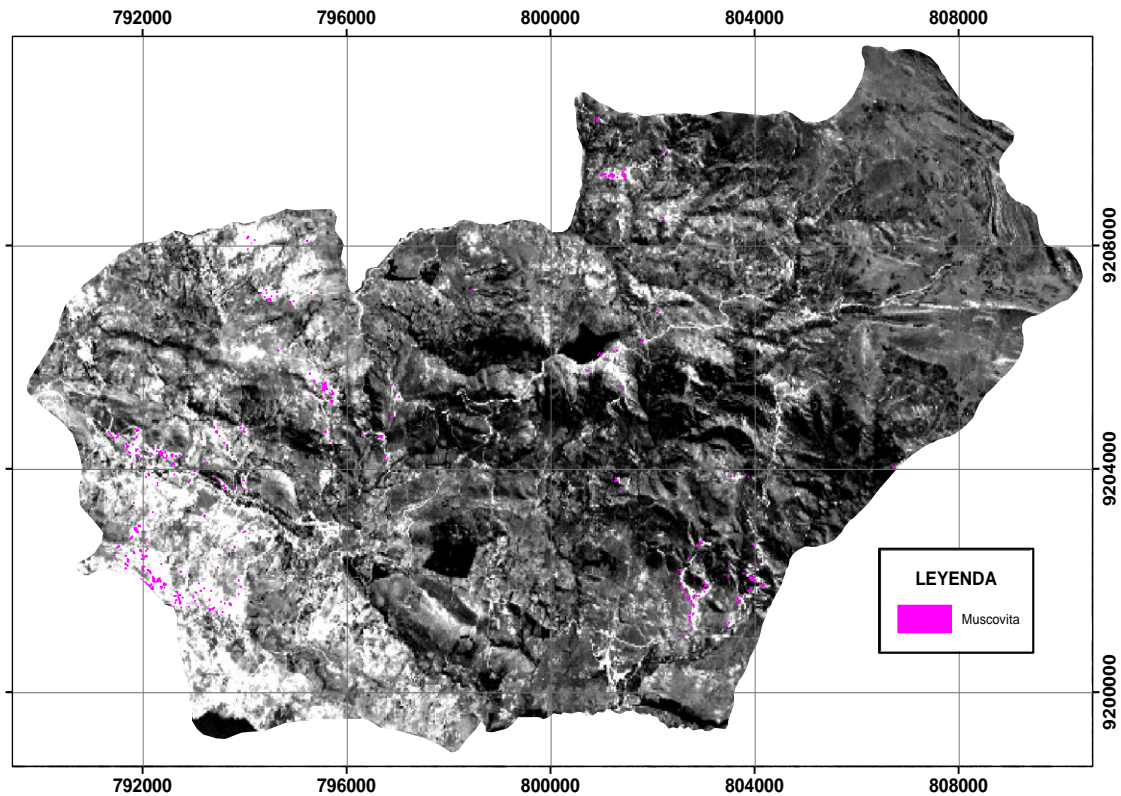


Figura 52: Mapa de ubicación de muscovita

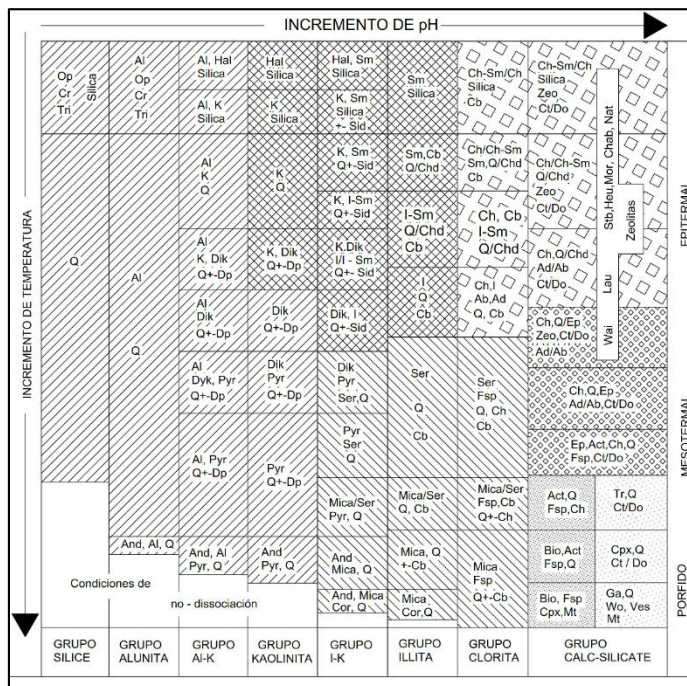


Figura 53: Presencia de muscovita en alteraciones minerales

La muscovita como mineral está asociado a yacimientos tipo Be, Zn, Mo, Li y a alteraciones de tipo

- Greisen

5.1.8. Ubicación espacial de Tremolita y Actinolita

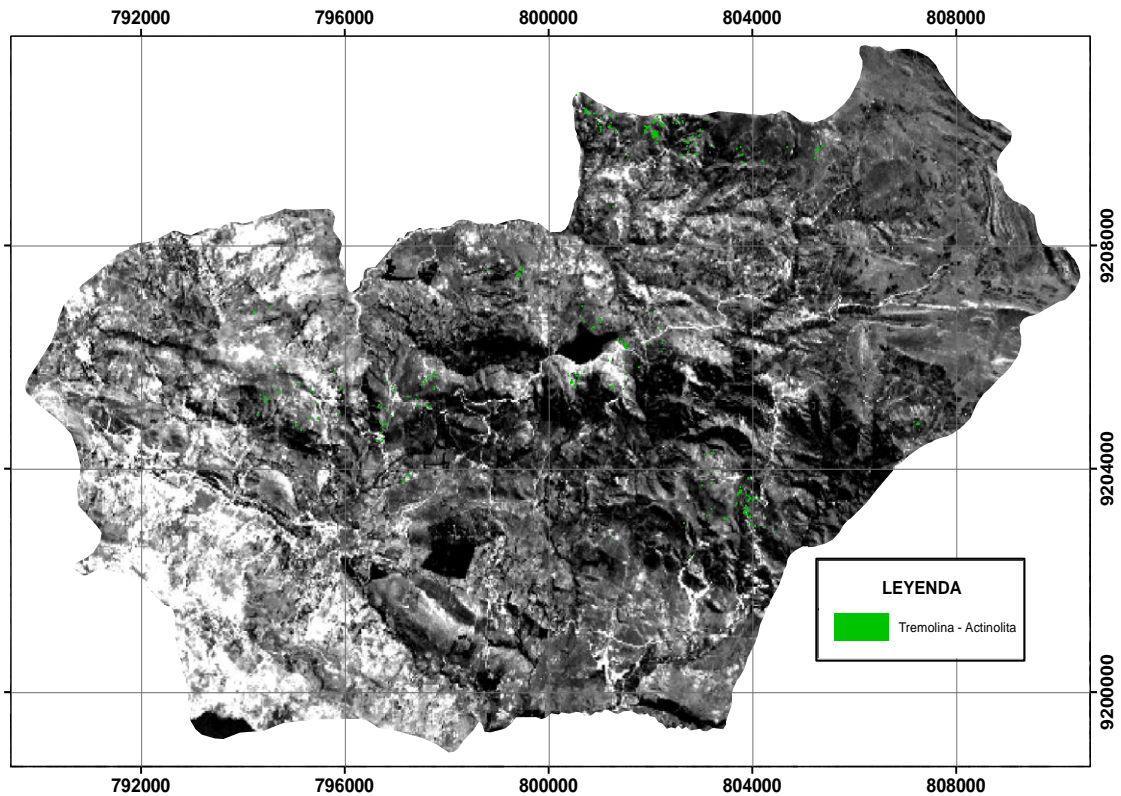


Figura 54: Mapa de ubicación de Tremolita y Actinolita

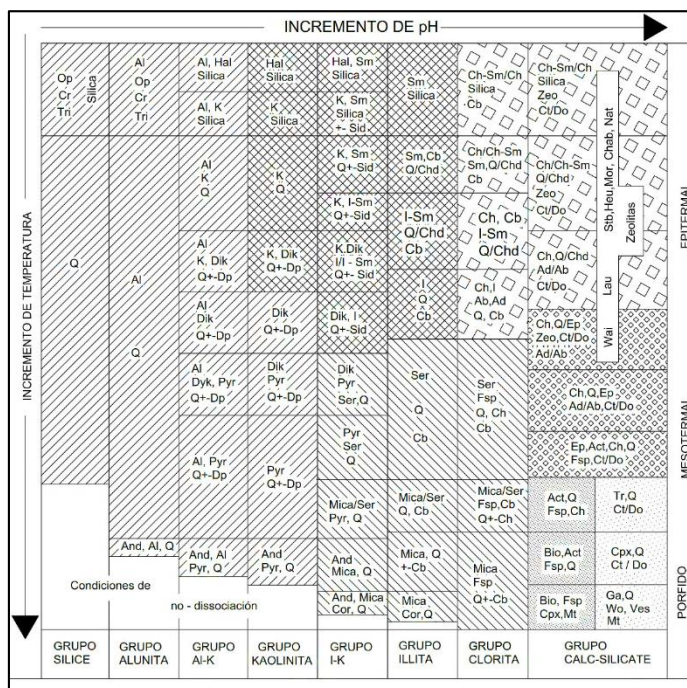


Figura 55: Presencia de tremolita y actinolita en alteraciones minerales

La tremolita y actinolita como minerales asociados a yacimientos metálicos los podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Potásica
- Scarn

The image is a grayscale map of a geological area, likely a topographic or geological map. It features a grid overlay with coordinates. The x-axis (horizontal) is labeled with values 792000, 796000, 800000, 804000, and 808000. The y-axis (vertical) is labeled with values 9200000, 9204000, and 9208000. The map shows a complex, irregular shape representing a geological feature. The terrain is depicted with various shades of gray, indicating different elevations or geological compositions. A legend in the bottom right corner, titled "LEYENDA", shows a green square next to the word "Turmalina", indicating that the green areas on the map represent Turmalina. The map is framed by a black border.

INCREMENTO DE pH									
Op Cr Trn	Al Op Trn	Al, Hal Silica	Hal Silica	Hal, Sm Silica	Sm Silica	Ch-Sm/Ch Silica Cb	Ch-Sm/Ch Silica Zeo Ct/Do	Sh-Hu Mer. Chab. Nat Zoolitas	Sh-Hu Lau
Q	Al	Al, K Silica	K Silica	K, Sm Q+Sid	Sm, Cb Q/Cnd	Ch-Ch-Sm Sm, Q/Cnd Cb	Ch-Ch-Sm Q/Cnd Zeo Ct/Do		
Q	Al	Al K Q	K Q	K, I-Sm Q+Sid	I-Sm Q/Cnd Cb	Ch, Cb I-Sm Q/Cnd	Ch, Q/Cnd Ad/Ab Ct/Do	Wai	Zeo Ct/Do
		Al Dik Q+Dp	K, Dik Q+Dp	K, Dik I-Sm Q+Sid	I Q Cb	Ch, I Ab, Ad Q, Cb	Ch, Q/Ep Zeo, Ct/Do Ad/Ab		
		Al Dik Q+Dp	Dik Q+Dp	Dik, I Q+Sid					
		Al Dyk, Pyr Q+Dp	Dik Pyr Q+Dp	Dik Pyr Ser, Q	Ser Q Cb	Ser Fsp Q, Ch Cb	Ch, Q, Ep Ad/Ab, Ct/Do		
		Al Pyr Q+Dp	Pyr Q+Dp	Pyr Ser Q			Ep, Act, Ch, Q Fsp, Ct/Do		
And, Al, Q	And, Al Pyr, Q	And Pyr, Q	And Mica, Q	Mica, Q +Cb	Mica Fsp Q+Cb	Mica/Ser Fsp, Cb Q+Ch	Act, Q Fsp, Ch	Tr, Q Ct/Do	
Condiciones de		no - disociación		And, Mica Cor, Q	Mica Cor, Q		Bio, Fsp Cpx, Mt	Ga, Q Wo, Ves Mt	
GRUPO SILICE	GRUPO ALUNITA	GRUPO Al-K	GRUPO KAOLINITA	GRUPO I-K	GRUPO ILLITA	GRUPO CLORITA	GRUPO CALC-SILICATE		

- Turmalinización

Pág. 86

Plano 1: Minerales a partir de la imagen ASTER.

5.2. Ubicación de minerales analizados Landsat OLI - TIRS

5.2.1. Ubicación espacial de la Caosmectita

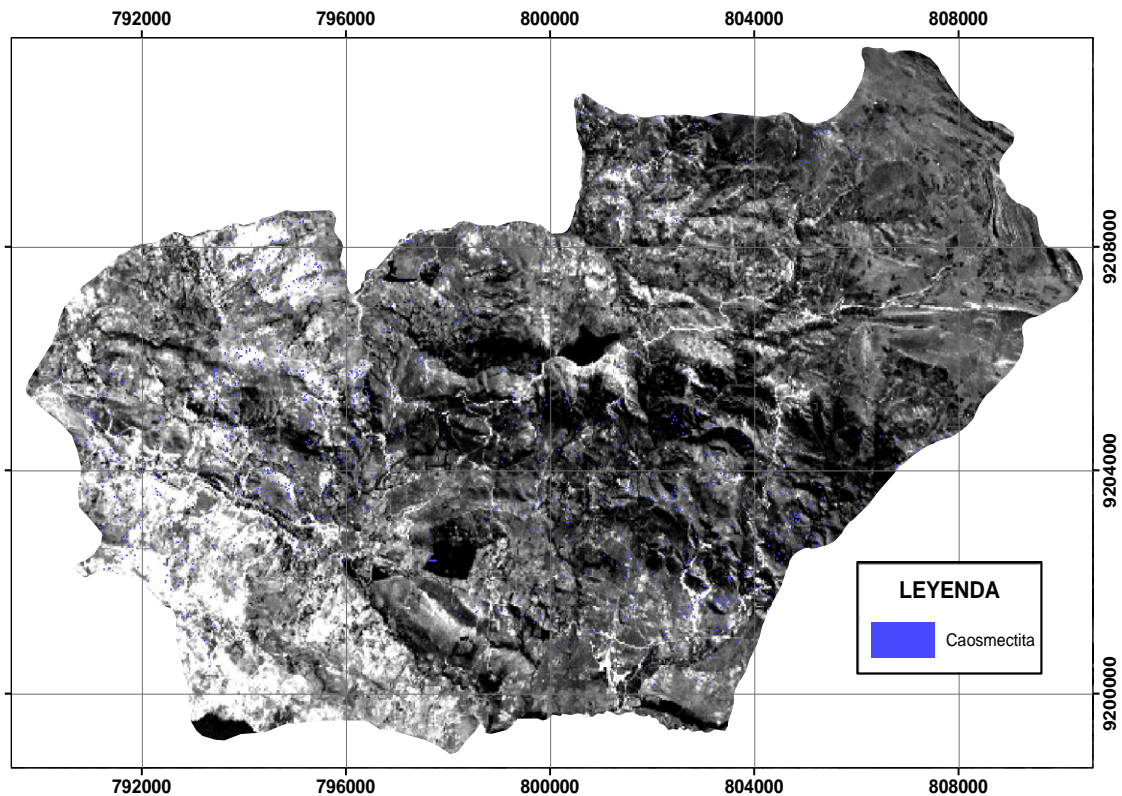


Figura 58: Mapa de ubicación de caosmectita

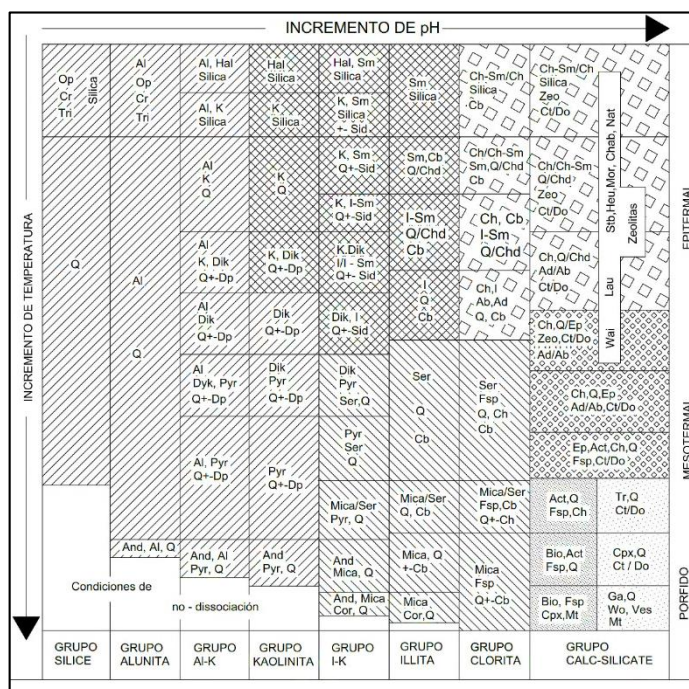


Figura 59: Presencia de caosmectita en alteraciones minerales

La caosmectita como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Argílica avanzada

5.2.2. Ubicación espacial de Diásporo

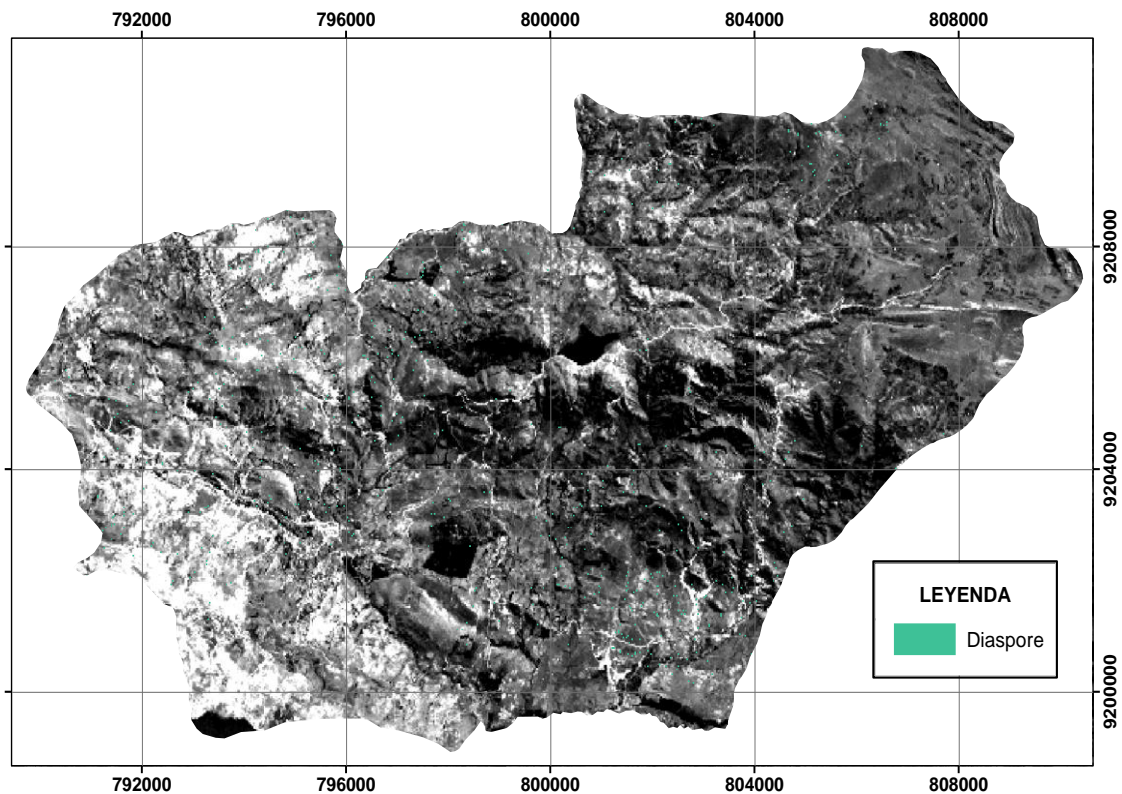


Figura 60: Mapa de ubicación de diásporo

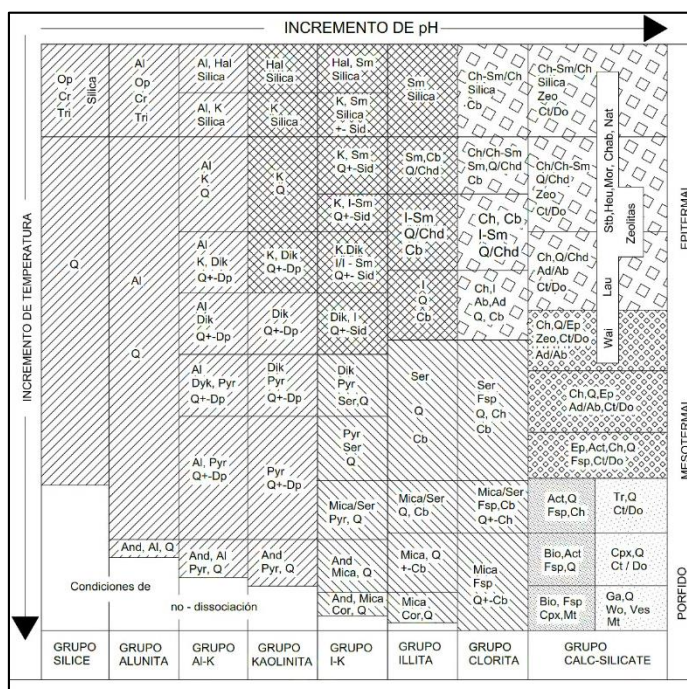


Figura 61: Presencia de diásporo en alteraciones minerales.

El diásporo como minerales asociado a yacimientos metálicos lo podemos ubicar dentro de diferentes tipos de alteración como son:

- Argílica
- Argílica avanzado

5.2.3. Ubicación espacial de Epidota

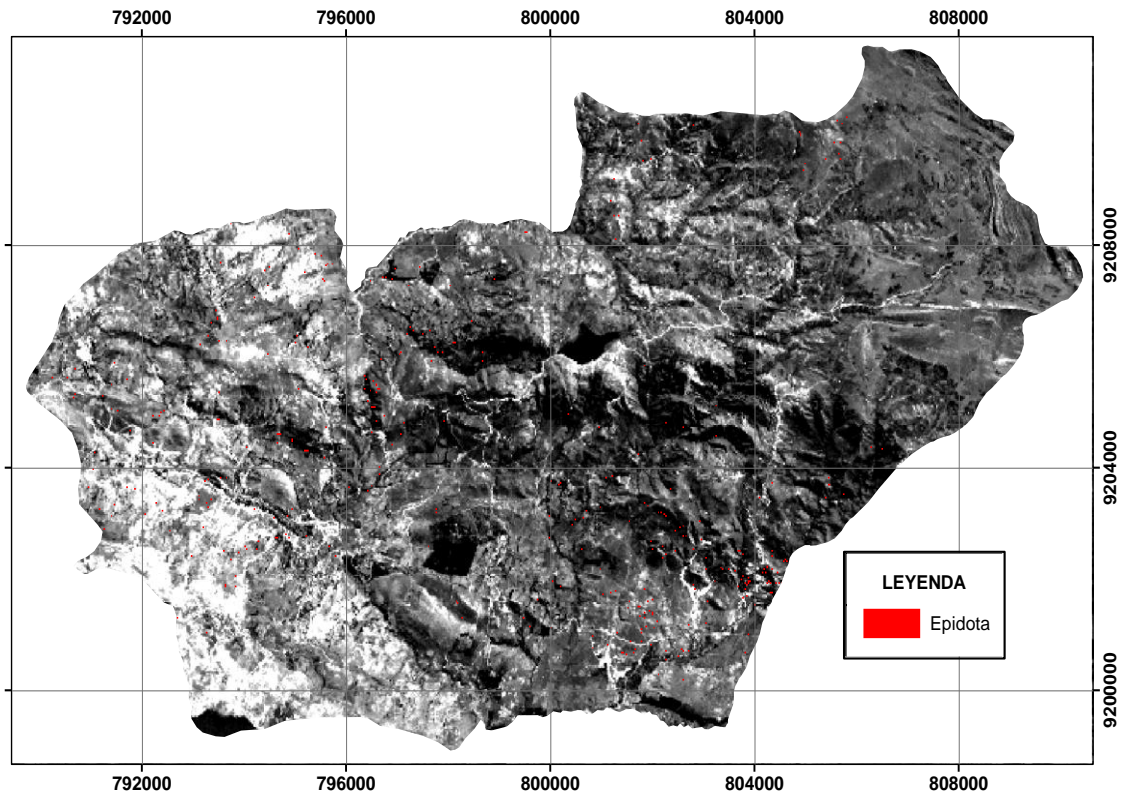


Figura 62: Mapa de ubicación de epidota

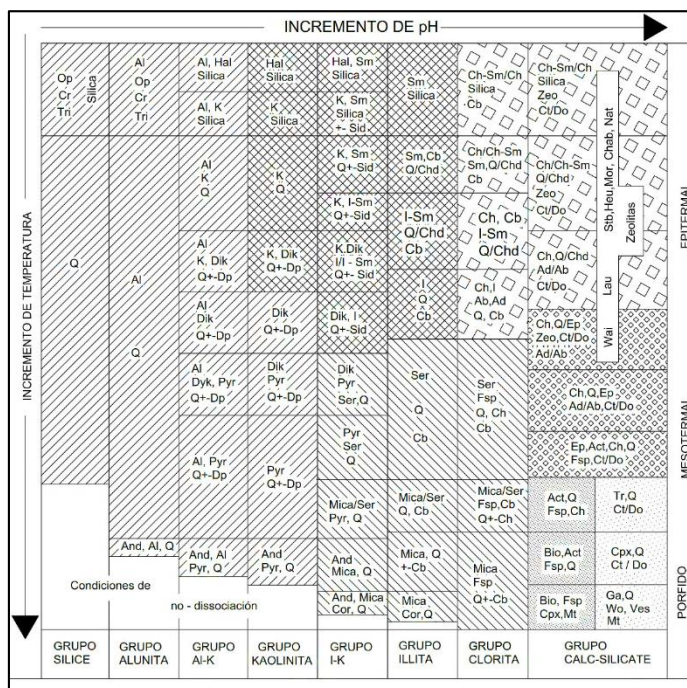


Figura 63: Presencia de epidota en alteraciones minerales

La epidota como mineral asociado a yacimientos metálicos la podemos ubicar dentro de la alteración

- Propilitica

Plano 2: Minerales a partir de la imagen Landsat OLI-TIRS

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

Mediante el análisis y presentación de resultados podemos generar zonas de interés prospectivo determinándose la ocurrencia de minerales como: Calcita, Caosmectita, Corindón, Cuarzo, epidota, Illita, Muscovita, Tremolita-Actinolita, turmalina utilizando imágenes satelitales Aster y Epidota, Caosmectita, Diásporo y Tremolita utilizando imágenes Landsat.

Partiendo de esta identificación podemos afirmar que mediante el análisis espectral de imágenes Aster y Landsat OLI-TIRS es posible determinar áreas con posibilidad de albergar zonas específicas de interés prospectivo.

Los minerales encontrados evidencian la ocurrencia de alteraciones minerales tales como propilítica, potásica y argílica según la clasificación mineral de Leach, 1998.

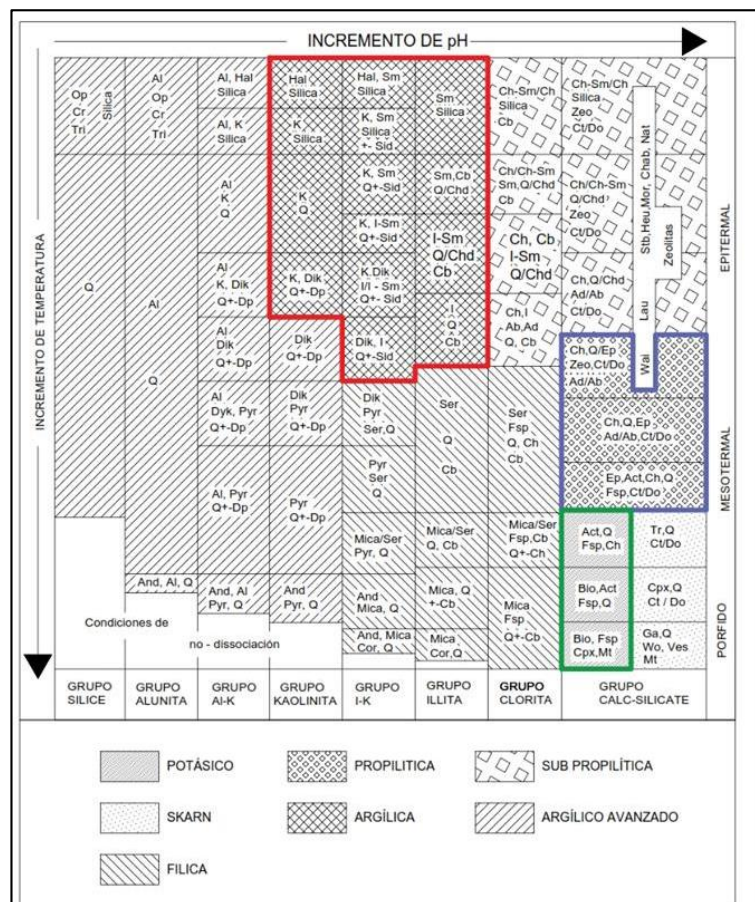


Figura 66: Zonificación de minerales característicos en yacimientos metálicos. (Leach, 1998)

Las zonas de interés prospectivo son atribuibles a yacimientos con ensambles característicos de cuarzo - epidota, cuarzo- caolín, cuarzo – muscovita, cuarzo – feldespato.

Tabla 46: Ensamblajes minerales asociados a yacimientos metálicos

Ensamble Mineral	Alteración	Depósito de Mineral Metálico
Cuarzo - Muscovita	Greisen	Be, Sn, Sn-W, Be-W, Mo, Li, etc.
Cuarzo - Feldespatos	Potásica	Sn-W, W-Mo, W-Cu-Zn, Mo-Cu
Cuarzo - Secundario	Silificación	Mo-Cu, Al, Cu-As, Ag-Au, Cu-Pb, Ag, Sb
Cuarzo - Sericita	Sericitización	Mo-Cu, Pb-Ag-Au, Fe-Cu-Zn-Pb
Cuarzo - Caolín	Argilización	S, Fe, Hg, Ag-Au, U, Hg-Sb, Pb-Zn-Sb
Caolín	Caolinización	Cu, Pb-Zn, Sb, Hg, Fluorita
Clorita - Epidota - Calcita - Pirita	Propilitización	Pb-Zn-Cu, Pb-Ag, Ag-Au, Hg-Sb, Mo
Cuarzo - Clorita	Cloritización	Cu-Fe, Pb-Zn, Cu-Sn, Au y Cr
Cuarzo - Laumontita	Zeolitización	Pb-Zn-Ag-Cu
Alunita - Ópalo	Alunitización	Au-Ag
Alunita - Cuarzo	Alunitización	Zn-Cu-Pb
Cuarzo - Ankerita	Listvenitización	Au, Au-As, Zn-Be-Cu-Ag, Co-Ni-Ag-U, U, F, Hg-Sb
Dolomita	Dolomitización	Pb, Pb-Zn, Fe y Hg
Cuarzo - Turmalina	Turmalinización	Au-As-Cu, Sn-Cu-Pb, Cu.
Hematita	Hematización	U
Cuarzo - Epidota - Anfíbol	?	Fe-Cu, Zn-Pb-Cu

Fuente: Geología de los depósitos minerales (J. Valera)

Estos ensambles y alteraciones determinan la ocurrencia de yacimientos de Au- As-Cu, Sn-Cu-Pb, Ag-Au, Cu-Mo, Pb-Zn, según la clasificación mineral de J Valera.

Además, podemos definir con claridad que las imágenes Aster por su resolución espectral son más eficaces al momento prospectar minerales de alteración, mientras que las imágenes Landsat OLI TIRS son eficaces en la búsqueda de óxidos, sulfuros y arcillas; gracias a su resolución espacial y la característica de las bandas del espectro visible (única energía electromagnética de visualización humana) como lo evidencia el plano N° 3 en el cual se definen las zonas de interés prospectivo.

Plano 3: Minerales a partir de imagen ASTER vs imagen Landsat OLI-TIRS

CONCLUSIONES

Se identificó dos zonas de interés prospectivo al SE y W del distrito de Bambamarca, utilizando teledetección, mediante imágenes satelitales Áster y Landsat OLI – TIRS, llegándose a determinar posibles yacimientos de Au- As-Cu, Sn-Cu-Pb, Ag-Au, Cu-Mo, Pb-Zn

Se analizó los rangos espectrales de los diferentes minerales existentes en la zona de estudio, llegando a identificarse minerales como turmalina, caosmectita, epidota, illita, tremolita, actinolita, cuarzo, calcita, corindón, muscovita, diásporo, definiéndose alteraciones propilitica, potásica y argílica.

Se comparó rangos espectrales del procesamiento de la imagen Aster y Landsat OLI-TIRS con las firmas espectrales de la librería espectral de la USGS para determinar zonas de yacimientos minerales utilizando la técnica SPECTRAL FEATURE FILTERING (SFF) y la técnica de perímetro exterior para la forma general de la gráfica.

Al comparar los resultados entre las imágenes satelitales Aster y las imágenes Landsat OLI TIRS, podemos concluir que las imágenes Aster son más eficientes al momento de teledetectar zonas de interés prospectivo mineral pues poseen una mayor resolución espectral que permite la ubicación específica de minerales de alteración.

RECOMENDACIONES

Se recomienda siempre la utilización de máscaras, pues de este modo se podrá filtrar información no necesaria y dar mayor interés a las firmas espectrales de los minerales buscados.

Se recomienda que, siempre antes de iniciar un estudio satelital, se debe tener en cuenta las características de cada producto a utilizar pues cada imagen tiene diferentes tipos de bandas y rangos espectrales que resaltan las características buscadas de diferentes formas y de esto dependerá reducir el margen de error en el estudio que se necesite realizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boletín N°20 (1998) Estudio geológico regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la república de Perú.
- Chuvieco E. (1996). Fundamentos De Teledetección Espacial (2da Edición). Madrid: RIALP
- Corbett & Leach. (1998). Apunte Hidrotermalismo y Yacimientos minerales, 9p.
- Lillesand, T & Kiefer, R. (1994). Sensoramiento remoto e interpretación de imágenes, 3rd ed. Nueva York 750 p.
- Mamani T. (2017). Aplicación De Imágenes Aster En La Detección De Zonas De Alteraciones Hidrotermales, Sector Titire, Carumas, Moquegua. Tesis de grado. Universidad Nacional Del Altiplano. Puno. Perú.
- Meinjer A. (2007). Remote Sensing Applications To Groundwater. Francia: UNESCO
- Mendiguren, L & Cabrera. (2008). Conceptos iniciales sobre teledetección y su aplicación. Buenos Aires. 180p
- Reyes, L. (1980). Boletín N°31 Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba hojas (15-f, 15-g, 16g).
- Sigmur. (2006). Universidad de Murcia. SIG y Teledetección. Murcia – España [publicación en línea]. Disponible en Internet en: <http://www.um.es/geograf/Sigmur/index.html> [Consulta: 20 de agosto 2011].